

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA TEXTILNÍCH A JEDNOÚČELOVÝCH STROJŮ

2013

Bc. Amrich Michal

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství

Obor: 2302 T010 Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření: Textilní stroje

Navíjecí zařízení pro skupinové navíjení

Multiple spool winding device

KTS-M255

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jozef Kaniok, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Vratislav Procházka

Rozsah práce

Počet stran : 48

Počet obrázků : 38

Počet tabulek : 4

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem navíjecí jednotky pro skupinové navíjení 10 kusů cívek na vřeteno, pomocí dokonale přesného křížového vinutí. V teoretické části jsou popsány jednotlivé druhy vinutí. Následně je popsán samotný návrh, který byl proveden v CAD softwaru ProENGINEER. Dále jsou provedeny výpočty pro stanovení parametrů potřebných pro funkci řízených pohonu navíjení, rozvádění a navrženo alternativní řešení způsobu navíjení.

Klíčová slova

Navíjení, vřeteno, cívka, mezera, servopohon, převodový poměr.

Anotation

Diploma work deals with the design of multiple spool winding device, which is used for 10 spools wound on a spindle by using the perfectly precise cross winding. The theoretical part of thesis is focused on the theory of winding in general. Subsequently, the design, which was made in CAD software ProENGINEER, is described. Next steps follow in the calculation of parameters which are needed for the function of controlled drives for winding and traversing. The alternative winding solution is mentioned in the conclusion.

Key words

Winding, spindle, spool, gap, servoactuator, gear relation.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act. No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date

Signature

Poděkování

Mé poděkování patří především rodičům, kteří mi umožnili studium na VŠ. Dále děkuji své manželce, za její trpělivost a pochopení. Děkuji svému synovi, který mi dodával energii v době, kdy jsem myslel, že už žádnou nemám.

Děkuji kolektivu Katedry textilních a jednoúčelových strojů za podporu, přátelství a všestrannou pomoc, zejména při řešení technických problémů děkuji Ing. Vratislavu Procházkovi, Ing. Petru Žabkovi a vedoucímu této diplomové práce Ing. Jozefu Kaniokovi, Ph.D.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	7
ÚVOD	8
1. TEORIE VINUTÍ	9
1.1 Paralelní vinutí	10
1.1.1 Mechanismy pro paralelní vinutí	10
1.2 Křížové vinutí	11
1.2.1 Divoké vinutí	11
1.2.1.1 Mechanismy pro divoké vinutí	12
1.2.2 Přesné křížové vinutí	14
1.2.2.1 Mechanismy pro přesné křížové vinutí	16
1.2.2.1.1 Rozvádění pomocí dutého rozváděcího bubnu	17
1.2.2.1.2 Rozvádění pomocí rotujících talířů (kuželů)	18
1.2.2.1.3 Rozvádění pomocí rotujících křídel	19
1.2.2.1.4 Rozvádění pomocí krokového motoru	20
1.2.3 Digitální vinutí	20
1.2.4 Dokonale přesné křížové vinutí	22
2 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	25
3 NÁVRH NAVÍJECÍ JEDNOTKY	27
3.1 Navíjecí jednotka s horizontálním uspořádáním	27
3.2 Navíjecí jednotka s vertikálním uspořádáním	31
4 ALGORITMY PRO ŘÍZENÉ POHONY	38
4.1 Převodové poměry v systému	38
4.2 Model dokonale přesného křížového vinutí (DPKV)	39
5 APLIKACE DIGITÁLNÍHO VINUTÍ	42
6. REALIZACE ŘÍZENÝCH POHONŮ	45
ZÁVĚR	46
POUŽITÁ LITERATURA	47
SEZNAM PŘÍLOH	48

Seznam použitých symbolů

OZNAČENÍ	POPIS	JEDNOTKA
R	SOUKACÍ POMĚR	-
d	MALÝ PRŮMĚR NAVÍJENÍ	mm
D	VELKÝ PRŮMĚR NAVÍJENÍ	mm
B	ŠÍŘKA CÍVKY	mm
α	ÚHEL KŘÍŽ	°
s	STOUPÁNÍ	mm
β	ÚHEL ČELA CÍVKY	°
κ	ÚHEL KUŽELOVÉ DUTINKY	°
z	VZDÁLENOST SOUSEDNÍCH NAVINUTÝCH NITÍ	mm
η	ÚHEL VRATU	°
x	POČET BODŮ VRATU	-
d_0	POČÁTEČNÍ PRŮMĚR NAVÍJENÍ	mm
r_0	POČÁTEČNÍ POLOMĚR NAVÍJENÍ	mm
d_v	PRŮMĚR VRSTVY	mm
r_v	POLOMĚR VRSTVY	mm
t	TLOUŠŤKA NITI	mm
X	KOEFICIENT TLOUŠŤKY VRSTVY	-
t_v	TLOUŠŤKA NITI VE VRSTVĚ	mm
O	ROZTEČ UKLÁDÁNÍ	mm
Y	INKREMENTY MOTORU	-
Z	PULSY Kladky	-
l_{PK}	DÉLKA PULSU Kladky	mm
i_{MV}	PŘEVODOVÝ POMĚR SERVOMOTOR VŘETENE/VŘETENO	-
i_{MRV}	PŘEVODOVÝ POMĚR SERVOMOTOR ROZVADĚČE/ROZVADĚCÍ VÁLEČEK	-
i_1	PŘEVODOVÝ POMĚR ODPOVÍDAJÍCÍ NOMINÁLNÍ HODNOTĚ SOUKACÍHO POMĚRU	-
i_2	JEMNÝ PŘEVODOVÝ POMĚR	-
i_{CVR}	CELKOVÝ PŘEVODOVÝ POMĚR VŘETENO/ ROZVADĚCÍ VÁLEČEK	-
$i_{KOMUNIKAČNÍ}$	KOMUNIKAČNÍ PŘEVODOVÝ POMĚR SERVOMOTOR VŘETENE/SERVOMOTOR ROZVADĚCÍHO VÁLEČKU	-
l	DÉLKA OVINU	mm
l_v	DÉLKA VE VRSTVĚ	mm
N_v	POČET OVINŮ NA VRSTVU	-
n_{VM}	POČET OTÁČEK MOTORU VŘETENE PŘI DANÉ VRSTVĚ	-
Y_v	POČET INKREMENTŮ MOTORU PŘI DANÉ VRSTVĚ	-
Z_v	POČET PULSŮ Kladky NA VRSTVU	-
W_v	POČET INKREMENTŮ MOTORU NA JEDEN PULS Kladky PRO DANOU VRSTVU	-

Úvod

Cílem této diplomové práce je navrhnout navíjecí zařízení pro skupinové navíjení cívek. Skupinovým navíjením je myšleno navinutí několika, v tomto případě 10, kusů cívek na vřeteno, s cílem dosáhnout nejefektivnější výrobu daných cívek. Navíjecí zařízení tedy spadá do kategorie produkčních strojů s požadavkem na maximální výkon. Další skupinou navíjecích strojů, je skupina technologických navíjecích strojů, u nichž je naopak požadována konstantní navíjecí rychlost.

Pro návrh navíjecího zařízení je požadována aplikace dokonale přesného křížového vinutí (DPKV). Tento druh vinutí byl vyvinut na Technické Univerzitě v Liberci, na Katedře textilních a jednoúčelových strojů, Ing. Josefem Kaniokem Ph.D. a podroben ověřovacím zkouškám na několika funkčních modelech. Navzdory efektivnosti objemového zaplnění cívky, které nabízí právě tento způsob vinutí, není v průmyslu realizované žádné zařízení, které by DPKV prakticky využívalo. Bližším rozbořením jednotlivých druhů vinutí a jejich konstrukcemi se bude zabývat teoretická část této diplomové práce.

V praktické části diplomové práce bude popsána samotná konstrukce navíjecího zařízení. V práci bude záměrně vynechán popis sestavy rozváděcího mechanismu, z důvodu nedokončené průmyslové ochrany.

U konstrukcí navíjecích zařízení s přesným křížovým vinutím a navíjecích zařízení s paralelním vinutím bylo donedávna (10-20 let zpět) využíváno mechanických vazeb pro svázání pohybů rozváděcích mechanismů s otáčkami vřeten. Individuálních pohonů bylo využito pro speciální aplikace, jako je např. navíjení skleněných vláken přesným křížovým vinutím. Hlavním důvodem byla především vysoká cena pohonů a řídících jednotek. Obrovský pokrok na poli elektrotechniky a vývoji motorů, způsobil také pokles jejich cen. Moderní pohony, myšleno především krokové motory a bezkartáčové servopohony, umožňují velice přesné řízení. Tato skutečnost otevřela možnosti ekonomicky efektivního využití výše zmíněných motorů pro různé systémy navíjecích zařízení.

Posledním bodem této práce bude vytvoření matematického modelu pro DPKV, jehož výstupem budou potřebné parametry pro ovládání dvou individuálních pohonů aplikovaných pro pohon rozváděcího mechanismu a navíjecích vřeten.

1. Teorie vinutí



Obr. 1 Navíjecí jednotky [4]

Navíjením nebo také soukáním se rozumí proces, při kterém dochází k navíjení délkového materiálu na nosič. Délkovým materiálem může být příze, hedvábí, drát, kompozitní či skleněná vlákna a mnohé další. Nosiče lze charakterizovat jako dočasné a trvalé. Dočasný nosič plní svou funkci pouze v průběhu soukání a to jako vřeteno, na které se materiál navíjí. Po dokončení procesu je zhotovený návin sejmут. Trvalý nosič představuje širokou škálu dutinek různých tvarů, dle charakteru následného využití navinutých cívek. Tyto cívky lze rozdělit na válcové, kuželové, válcové bikonické, kuželové bikonické, terčové, přírubové, raketové, bobiny, king cívky, kopsy, útkové a speciální.



Obr. 2 Tvary cívek: kuželová, válcová spodní, kuželová se zkoseným čelem, válcová přírubová a king cívka [4]

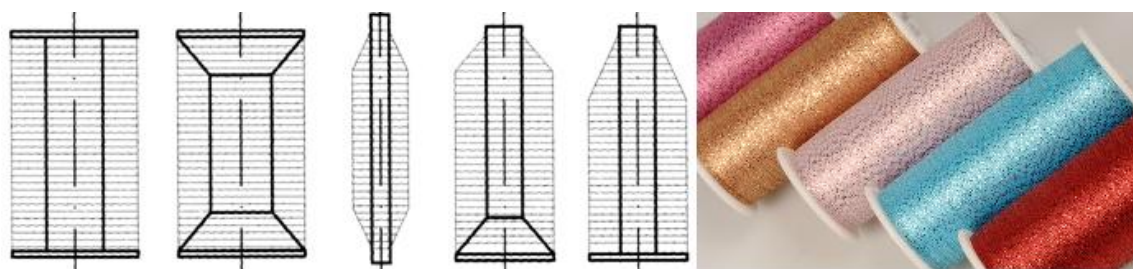
Způsob, jakým je materiál na cívku navíjen, ovlivňuje mnoho ukazatelů, jako například množství navinutého materiálu, tvrdost návinu, schopnost probarvení či hladkého odvíjení. Klíčovým parametrem některých cívek je **soukací poměr R** a je definován jako počet otáček vřetene-cívky ku jednomu dvojzdvihu rozvaděče, tudíž k rozvedení materiálu z jednoho konce cívky na druhý a zpět. Hodnota soukacího poměru má význam především pro cívky s křížovým návinem. Z teoretického hlediska existuje hodnota soukacího poměru i pro vinutí paralelní, u kterého dochází až k 2000 otáčkám vřeten na jeden dvojzdvih rozvaděče. V praxi se hodnota **R** pro paralelní vinutí nedefinuje.

Tab. 1 Parametry návinu 1

parametr	značka	jednotka
Soukací poměr	R	-
Malý průměr návinu	d	mm
Velký průměr návinu	D	mm
Šířka návinu	B	mm
Úhel stoupání ovinů	α	°
Stoupání ovinů	s	mm
Úhel čela cívky	β	°
Úhel kuželové dutinky	κ	°
Vzdálenost sousedních navinutých nití	z	mm

1.1 Paralelní vinutí

U paralelního, někdy také rovnoběžného, vinutí dochází ke kladení navíjeného materiálu rovnoběžně, těsně vedle sebe. Pro zajištění soudržnosti paralelních návinů je využito zkosení čel návinů, dutinek s přírubami či různých kombinací viz obr. 3.



Obr. 3 Tvary cívek pro paralelní vinutí [2] [3]

Paralelní vinutí se využívá především při zvlákňování, ale také pro navíjení cívkových těles, šicích nití, hedvábí a tam kde je kladen důraz na vzhled nitě. Příkladem mohou být zdobící nitě, viz obrázek výše. Na těchto návinech nedochází k omačkání nití, které vzniká např. u křížového vinutí křížením navíjeného materiálu.

1.1.1 Mechanismy pro paralelní vinutí

Při navíjení cívek paralelním vinutím je rozváděcí člen svázán s náhonem vřeten. Stoupání ovinů je velmi malé, rovná se přibližně tloušťce navíjeného materiálu. Rozvádění je realizované buď šroubovým, nebo vačkovým mechanismem, nejmoderněji však pomocí krokových motorů, které umožňují programově zabezpečit požadované zkosení čel cívky.



Obr. 4 Cívky s křížovým návinem [3]

1.2 Křížové vinutí

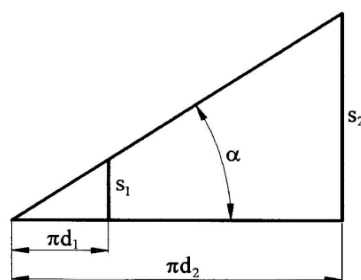
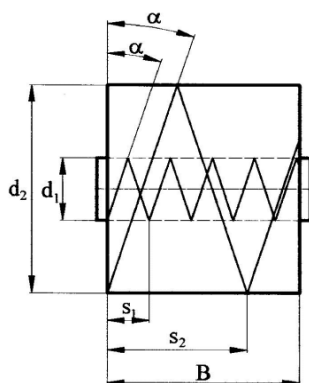
Křížové vinutí je charakteristické křížením navíjeného materiálu. Nitě jsou skloněny od čela dutinky o **úhel stoupání ovinů α** a dochází tak k provázání materiálů a zlepšení soudržnosti cívky. V závislosti na druhu křížového vinutí je úhel stoupání ovinů buď konstantní, nebo se v průběhu navíjení mění. To samé platí i pro soukací poměr **R**. Rozdělení křížového vinutí charakterizuje tabulka 2.

Tab. 2 Druhy křížového vinutí

druh křížového vinutí	soukací poměr R	úhel stoupání ovinů α	vzdálenost sousedních navinutých nití z
divoké	MĚNÍ SE	KONST.	MĚNÍ SE
přesné	KONST.	MĚNÍ SE	MĚNÍ SE
digitální	KONST. se skokovou změnou	MĚNÍ SE v úzkém rozsahu	KONST.
dokonale přesné	KONST.	MĚNÍ SE	KONST.

1.2.1 Divoké vinutí

Jak je patrné z výše uvedené tabulky, při navíjení divokým vinutím dochází ke kladení nití s konstantním úhlem stoupáním ovinů a s narůstajícím průměrem cívky se mění soukací poměr a vzdálenost sousedních nití. Toto vinutí lze nazvat také jako



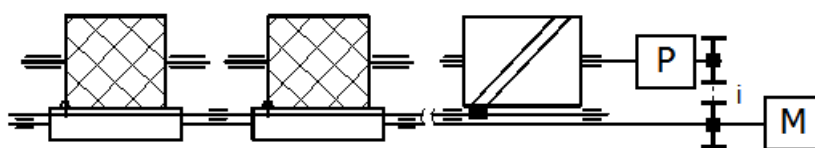
otevřené a to právě kvůli měnící se vzdálenosti sousedních nití. Poměry na cívce navinuté divokým vinutím popisuje obr. 5.

Obr. 5 Poměry na cívce s divokým vinutím [2]

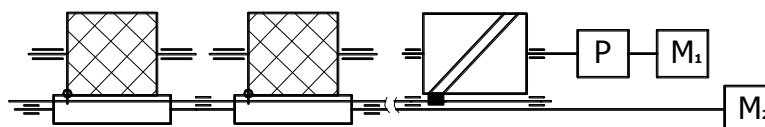
Cívka s divokým návinem pojme ze všech druhů křížového vinutí nejméně materiálu a její tvrdost je také značně menší. Výhodou je jednoduchost navíjecí jednotky a z technologického pohledu se například díky mezerám mezi nitěmi cívka dobře barví. Konstantní úhel stoupání zabezpečuje dobré provázání nití a tedy dobrou soudržnost návinu. Problematický stav nastává ve chvíli, kdy se při navíjení soukací poměr R blíží celým číslům, počty stoupání ovinů s násobkům nebo podílům šířky cívky B a poměr počtu ovinů na dvojzdvih rozvaděče číslům: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; ... Dochází k takzvanému pásmovému vinutí, které brání hladkému odvíjení nitě z cívky, zvyšuje počty přetrhů a znesnadňuje barvení. O způsobech zamezení tvorby pásmového vinutí bude pojednáno níže. Navzdory pásmovému vinutí je divoké vinutí, především díky svému jednoduchému provedení a nízké ceně navíjecí jednotky, zatím nejrozšířenější druh vinutí v textilním průmyslu.

1.2.1.1 Mechanismy pro divoké vinutí

Konstrukce navíjecích jednotek s divokým vinutím je založena na obvodovém náhonu cívky a různě řešeném rozváděcím mechanismu. Pro jednoduchost je lze rozdělit na **stroje s centrálním pohonem** reprezentující oblast technologických strojů, u nichž je požadována konstantní navíjecí rychlost, obr. 6; 7; 8 a **stroje s individuálním pohonem**, z oblasti produkčních strojů orientujících se na navíjecí výkon obr. 9.



Obr. 6 Tvorba divokého vinutí s centrálním pohonem [2]



Obr. 7 Tvorba divokého vinutí s centrálním pohonem rozvádění a centrálním pohonem vřeten [2]



Obr. 8 Tvorba divokého n., centrální rozvádění pomocí rozváděcí tyče, ozubeného řemínku a řízeného pohonu [2]

Obr.6 znázorňuje tvorbu divokého návinu za pomoci jednoho centrálního pohonu. Ten roztáčí náhonový hřídel, který obvodově pohání cívku. Hřídel je převodem svázán s rozváděcím mechanismem. Vazba zabezpečuje konstantní poměr mezi rozváděcí a navíjecí rychlostí, čímž je zároveň konstantní i úhel stoupání ovinů α . Úhel stoupání lze podle potřeby upravovat změnou převodového poměru i . Pro rušení pásmového vinutí je nutné zabezpečit periodickou změnu tohoto převodu vloženým diferenciálem. Obr. 7 popisuje tvorbu návinu s centrálním pohonem náhonového hřídele a samostatným pohonem rozváděním. Tento způsob je výhodnější, změna rychlostí a eliminace pásmového vinutí se zabezpečuje elektronicky.

Tyto dva způsoby navíjení divokým vinutím umožňují navíjet cívky ve standardním rychlostním rozsahu do 200 m/min. Firma SAVIO přišla s lepším řešením obr. 8, v rámci výstavy ITMA 2003 na svých strojích představila rozvádění pomocí ozubeného řemene poháněného řízeným pohonem. K řemenu je přichycena rozváděcí tyč s vodícími očky, které rozvádí nitě po cívkách. Plně elektronické řízení umožňuje navíjet různé šířky návinů, rušit pásmové vinutí a zároveň kompenzovat zpomalení a zrychlení rozváděcí tyče v krajních polohách. Jedná se o tzv. rozmazávání krajů, které je nutné k tomu, aby nedocházelo k nahromadění materiálu na krajích cívky. Tento způsob rozvádění umožňuje navíjet cívky rychlosti 250 m/min.



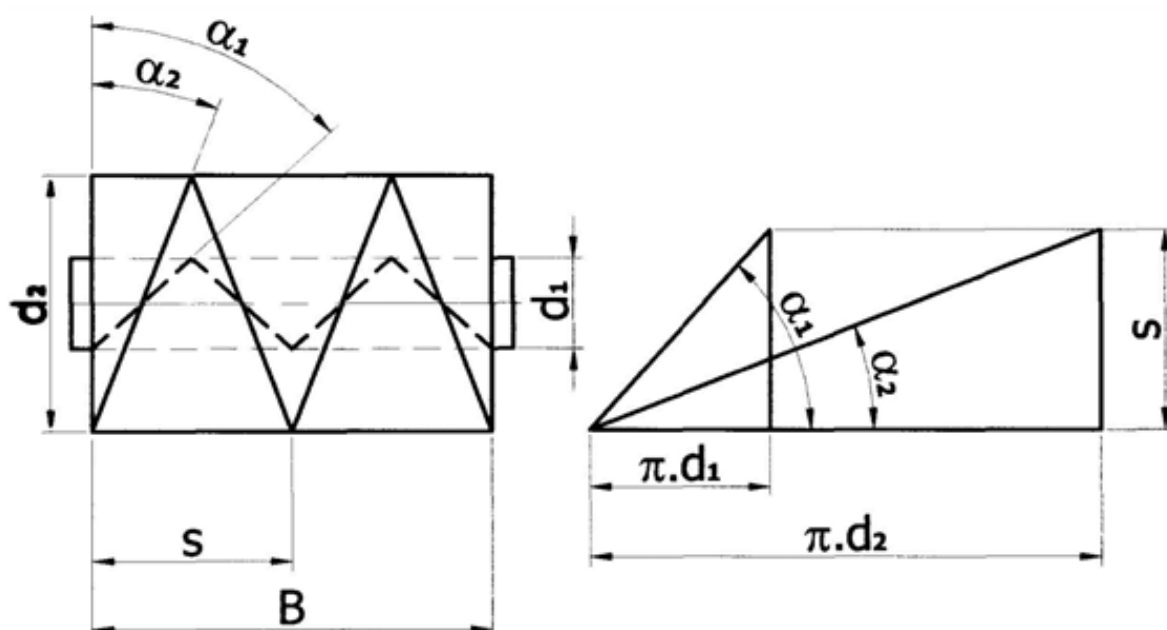
Obr. 9 Divoký návin, rozváděcí valeček s individuálním pohonem [4]

Jak práce zmiňuje výše zmíněno, u produkčních (soukacích) strojů je převážně využito individuálních pohonů pro každé navíjecí místo viz obr. 9. Jedná se o nejjednodušší uspořádání, kde je cívka obvodově poháněna od válečkového, nebo bubnového

rozvaděče. Rušení pásmového vinutí se zajišťuje strmou programovou změnou otáček a tím vzniku prokluzu mezi cívkou a rozvaděčem. Díky rozváděcímu válečku odpadly kmitající hmoty, složité mechanické vazby a hmotné rozváděcí členy. Otáčky válečku jsou omezeny pouze přetrhovostí nitě, která ustavila hodnotu navíjecí rychlosti na vysokých 1500 m/min.

1.2.2 Přesné křížové vinutí

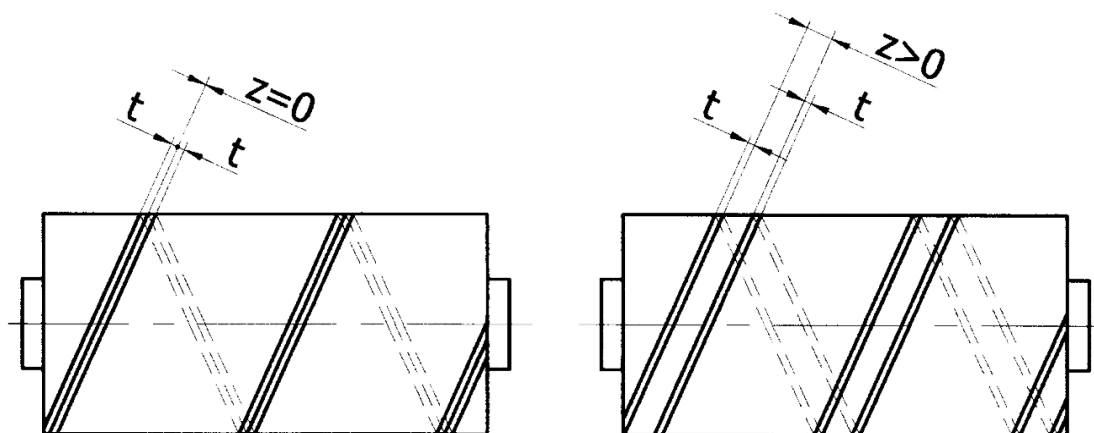
Cívky navíjené přesným křížovým vinutím mají konstantní stoupání ovinů a konstantní soukací poměr. Na rozdíl od vinutí divokého, kde je cívka poháněna obvodově, je zde využito osového pohánění a s rostoucím poloměrem navíjení se tak zvyšuje i navíjecí rychlost. Poměry na cívce s přesným křížovým návinem popisuje obr. 10.



Obr. 10 Poměry na cívce s přesným křížovým vinutím [2]

Přesné křížové vinutí vyžaduje svázání rozváděcí rychlosti na otáčky cívky. Objem zaplnění cívky je podstatně větší než u divokého vinutí. Struktura přesné křížové cívky je velmi dobrá a umožňuje hladké odvíjení niti. Vinutí lze rozdělit na tzv. **otevřené** a **uzavřené** obr. 11. U otevřeného křížového vinutí je vzdálenost sousedních nití $z > 0$,

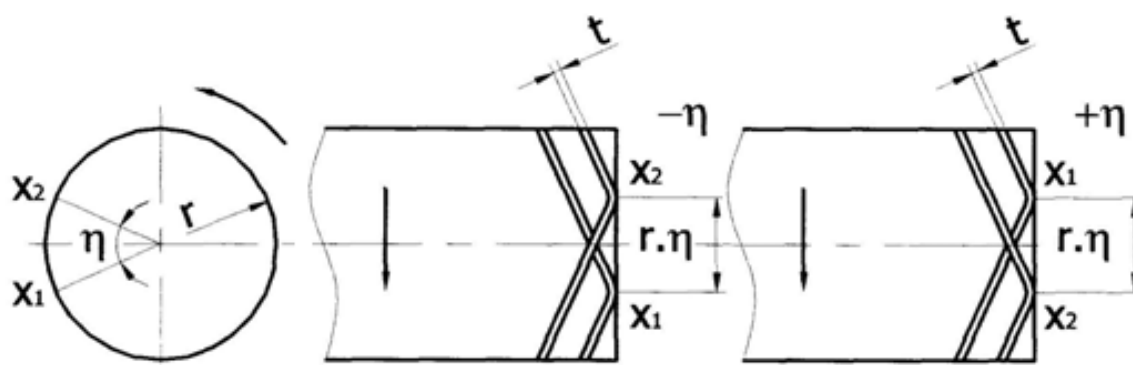
vzniká tedy mezera mezi nitěmi. Cívka pak vzhledově připomíná cívku s divokým návinem, ale s měnícím se úhlem stoupání ovinů.



Obr. 11 Uzavřené a otevřené přesné křížové vinutí [2]

Pro textilní stroje však postrádá další smysl, a proto se používá hlavně vinutí uzavřené. Při uzavřeném přesném křížovém vinutí jsou nitě kladeny co nejbližší vedle sebe, $z \approx 0$, je tak možné navinout více materiálu, zajistit také lepší soudržnost návinu a strukturu cívky.

Aby nedocházelo ke kladení nití na sebe, tedy k pásmovému vinutí, nesmí se soukací poměr R rovnat celému číslu. Na jeden dvojzdvih rozvaděče se proto k otáčkám vřetene přičte, nebo odečte tzv. úhel vratu η , obr. 12, o jehož hodnotu se vřeteno na dvojzdvih rozvaděče otočí vícekrát, nebo méněkrát, čímž se určuje vzdálenost sousedních nití a počet bodů vratu na čele cívky.



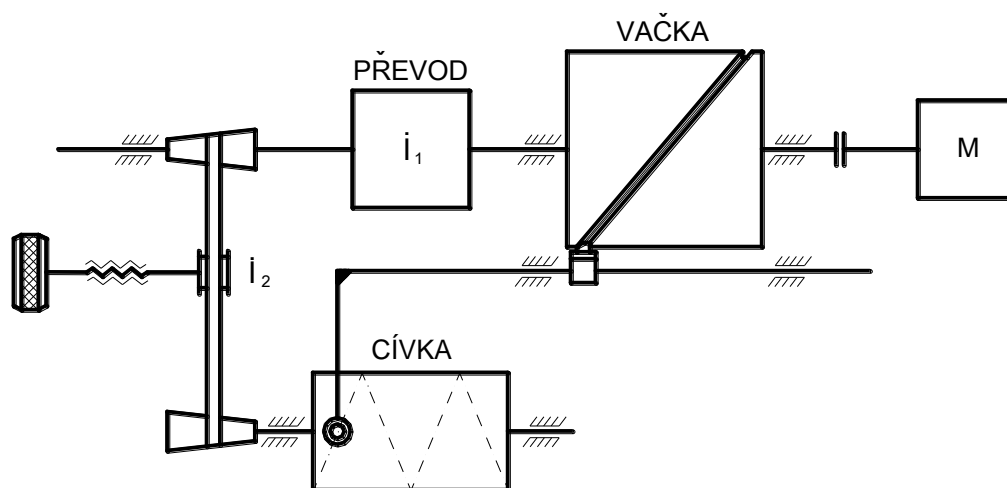
Obr. 13 Rozložení nití při odečtení a přičtení úhlu vratu [2]

1.2.2.1 Mechanismy pro přesné křížové vinutí

Rozdělení mechanismů pro přesný křížový návin dle způsobu rozvádění

- s rozváděním pomocí vačky - jednochodé vačky;
- vícechodé vačky;
- s rozváděním pomocí dutého rozváděcího válce či bubnu s drážkou;
- s rozváděním pomocí rotujících talířů (kuželů);
- s rozváděním pomocí rotujících křídel;
- s rozváděním pomocí krokového motoru.

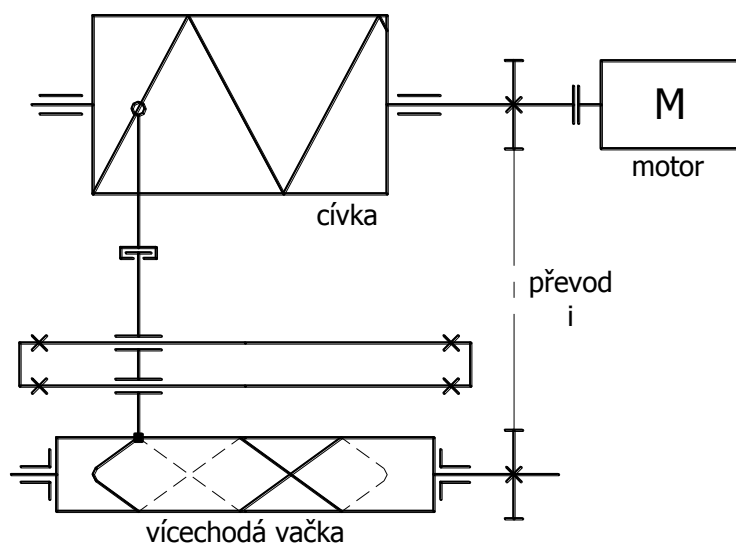
Rozvádění pomocí vačky



Obr. 13 Schéma rozváděcího mechanismu s jednochodou vačkou [2]

Princip rozvádění pomocí jednochodé vačky znázorňuje obr. 13. Mechanismus je tvořen vřetenem s cívkou, rozváděcí tyčí, pevným převodem i_1 , jemným kuželovým převodem i_2 , hnací jednotkou a vačkou. Vřetenem je hnané motorem přes pevný převodový poměr i_1 a jemný kuželový převod i_2 . Vačka, poháněná rovněž od motoru, zabezpečuje rozvádění nitě pomocí rozváděcí tyče s vodícím očkem. Pevný převodový poměr slouží k nastavení soukacího poměru R , který se volí jako celé číslo a jemným převodovým poměrem i_2 se určuje úhel vratu η a tedy i nastavení vzdálenosti sousedních navíjených nití. Součinem převodových poměrů i_1 a i_2 vyjde výsledný převodový poměr mezi vačkou a vřetenem.

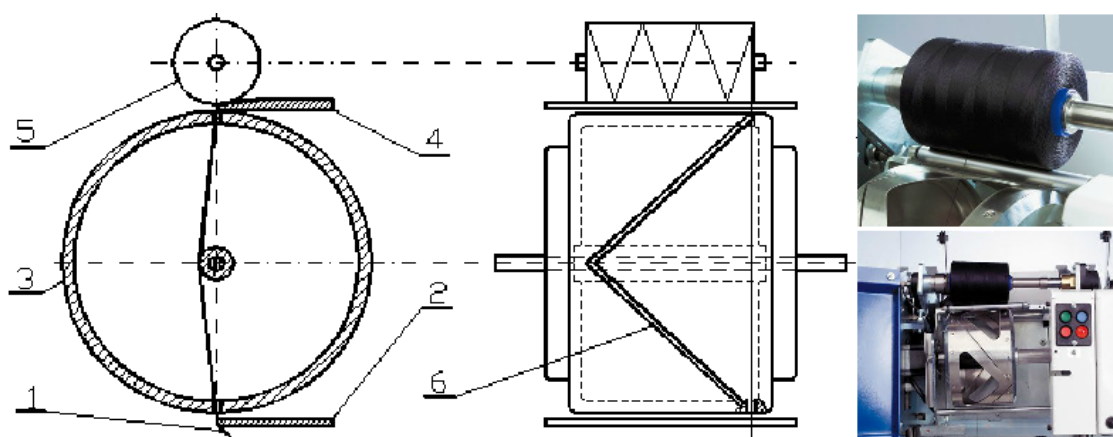
Volba jednochodé či vícechodé vačky se odvíjí od šířky cívky **B**, kde by pro širší cívky byla jednochodá vačka příliš velká a tedy nevýhodná, nicméně u vícechodé vačky dochází k většímu opotřebení a nedosahuje se takových rozváděcích rychlostí jako u vaček jednochodých. Rozvádění pomocí vícechodé vačky vyobrazuje obr. 14.



U vačkových mechanismů se klade velký důraz na přesnou výrobu vačky. Musí mít přesně vyrobenou drážku pro vodící kámen s konstantním stoupáním a co nejstrmější přechod v úvrati vačky, kde dochází

Obr. 14 Schéma mechanismu pro přesné křížové vinutí s vačkou vícechodou [2] ke změně směru vektoru rychlosti a kde dochází k největšímu namáhání materiálu vačky i kamene. Otáčky vřetene se pohybují v rozsahu do 4000 ot/ min.

1.2.2.1.1 Rozvádění pomocí dutého rozváděcího bubnu



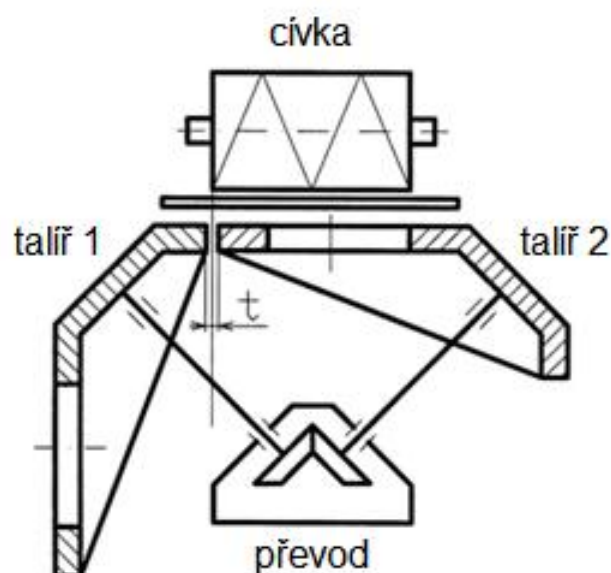
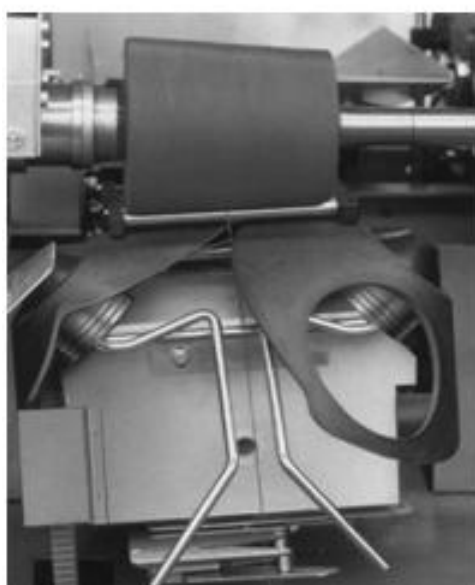
Obr. 15 Schéma mechanismu pro přené křížové vinutí s rozváděcím bubnem firmy SPT (1- niť; 2- vodící lišta; 3- dutý buben; 4- vodící lišta (dnes často nahrazena přítlačným válečkem); 5- cívka; 6- drážka) [2] [4]

Poměrně revoluční změnu při navíjení přesným křížovým vinutím, kde z rozváděcího mechanismu odpadly kmitající prvky, jako rozváděcí tyč s vodícím očkem, vodící kámen rozváděcí tyče, i samotná vačka, představila již v roce 1975 anglická firma SPT. Její patentovaný princip je patrný z Obr. 15. Válečkovým

(bubnovým) rozvaděčem je rozváděna niť na vřeteno, nedochází k zpomalování a zrychlování v krajních polohách, tudíž k zhušťování materiálu v blízkosti čel cívky a návin je tak kvalitnější. Otáčky vřetene nebyly regulovány na úkor rozvádění a už tehdy dosahovaly hodnot okolo 16000 ot/min, což bylo minimálně 4x více než jiná konkurenční zařízení s vačkovým rozváděním na tvorbu přesného křížového návinu.

1.2.2.1.2 Rozvádění pomocí rotujících talířů (kuželů)

Tento způsob rozvádění nitě byl reakcí na patentovaný princip rozvádění firmy SPT z roku 1975 od, do té doby nejlepšího výrobce navíjecích strojů, německé firmy HACOBA. Firma vyvinula stroj, u kterého kmitala také pouze niť, a to díky synchroně se otáčejícím kuželovým talířům, jejichž kuželová část obvodu byla opracována do tvaru vačky, obr. 16.

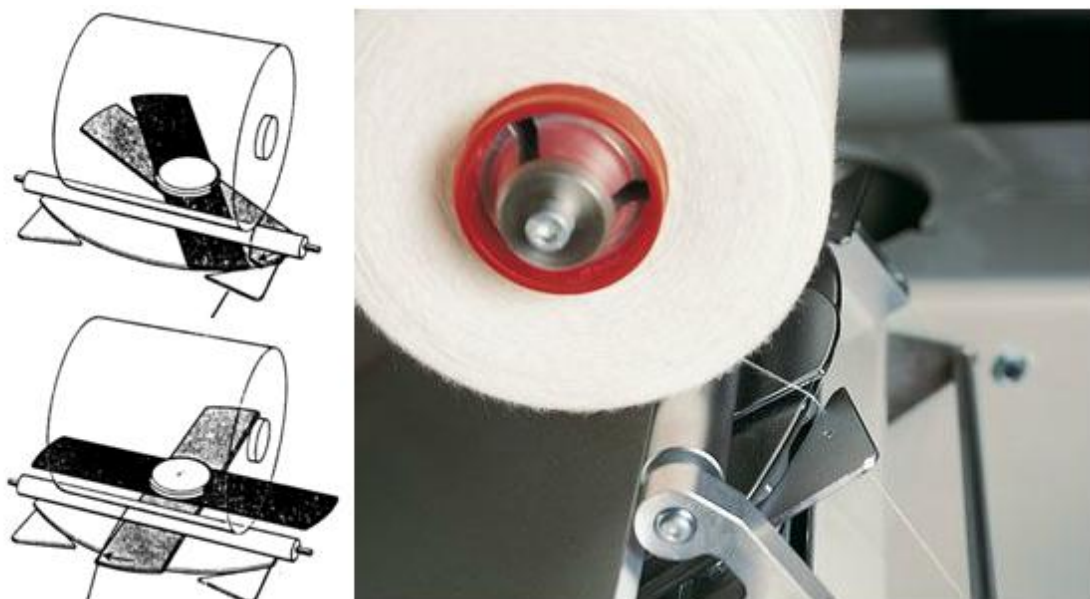


Obr. 16 Rozvádění pomocí rotujících talířů firmy HACOBA [2]

Pohybující se mezera, kterou tyto talíře při otáčení mezi sebou vytvářely, sloužila k rozvádění nitě po cívce. Náhon vřetena byl svázán, přes převod, se synchroně se pohybujícími talíři. Systém se později ukázal jako nekonkurenceschopný z důvodu nutnosti další převodovky, problematického vyvažování talířů, náročných na prostorovou zástavbu a celkovému vyššímu opotřebení prvků. Výrobu těchto strojů firma HACOBA ukončila po odkoupení firmy SPT včetně jejich patentových práv a tím zajistila další konkurenceschopnost svých strojů.

1.2.2.1.3 Rozvádění pomocí rotujících křídel

Rozvádění pomocí rotujících křídel je známé již od roku 1975. V devadesátých letech se začalo využívat pro digitální vinutí. Do podoby pro přesný křížový návin ho vyvinula a v roce 1999 představila firma SCHÄRER SCHWEITER METTLER AG – SSM. Využitím moderních elektronických řízených pohonů, kde bylo vřetenem poháněno jedním řízeným pohonem, rozváděním druhým regulovatelným pohonem, Obr. 17, bylo možné pomocí programování a kombinace otáček změnit druh vinutí z přesného křížového, také na divoké vinutí a digitální.

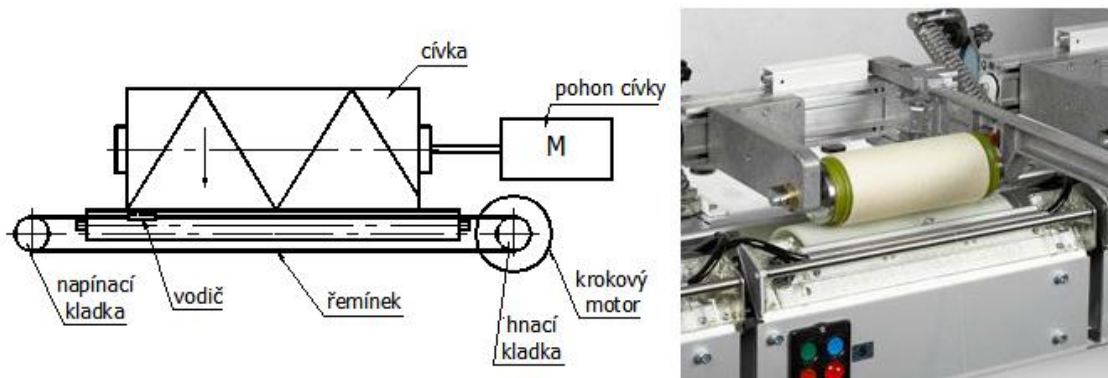


Obr. 17 Rozvádění pomocí rotujících křídel firmy SSM [4]

Princip výroby spočívá v proti sobě rotujících křídlech, z nichž jedno vede nit, od jedné krajní polohy k druhé, kde jí přebere druhé křídlo a vede jí zpět. Proces je cyklický. Jednou z výhod tohoto způsobu rozvádění dle SSM je nízké tření z důvodu bodového styku nitě s křídly, tedy až o 10% nižší namáhání příze a tím zvýšení celkové kvality návinu. Precizní, přesný křížový návin vytvoří nejlépe vodící očko či rozváděcí válec (buben), které jsou téměř v kontaktu s navíjenou cívkou. Rotující křídla toto neumožňují, a proto je mezi cívkou a křídly vložen váleček, po kterém se cívka odvaluje. Samotná nit je z křídel vedená na půlkruhový vodící plech, který je od místa navíjení na cívce vzdálen.

1.2.2.1.4 Rozvádění pomocí krokového motoru

Rozvádění pomocí krokového motoru, pro přesné křížové vinutí, vyvinula firma SSM pod označením PRECIFLEX. Podobně jako princip rotujících křídel, i tento způsob tvorby návinu, je založen na pokroku v elektronických pohonech. Obr. 18, popisuje princip navíjení, a to za pomoci krokového motoru a lehkého řemínku s upnutým vodícím očkem.



Obr. 18 Mechanismus pro přesné křížové vinutí pomocí krokového motoru firmy SSM [4]

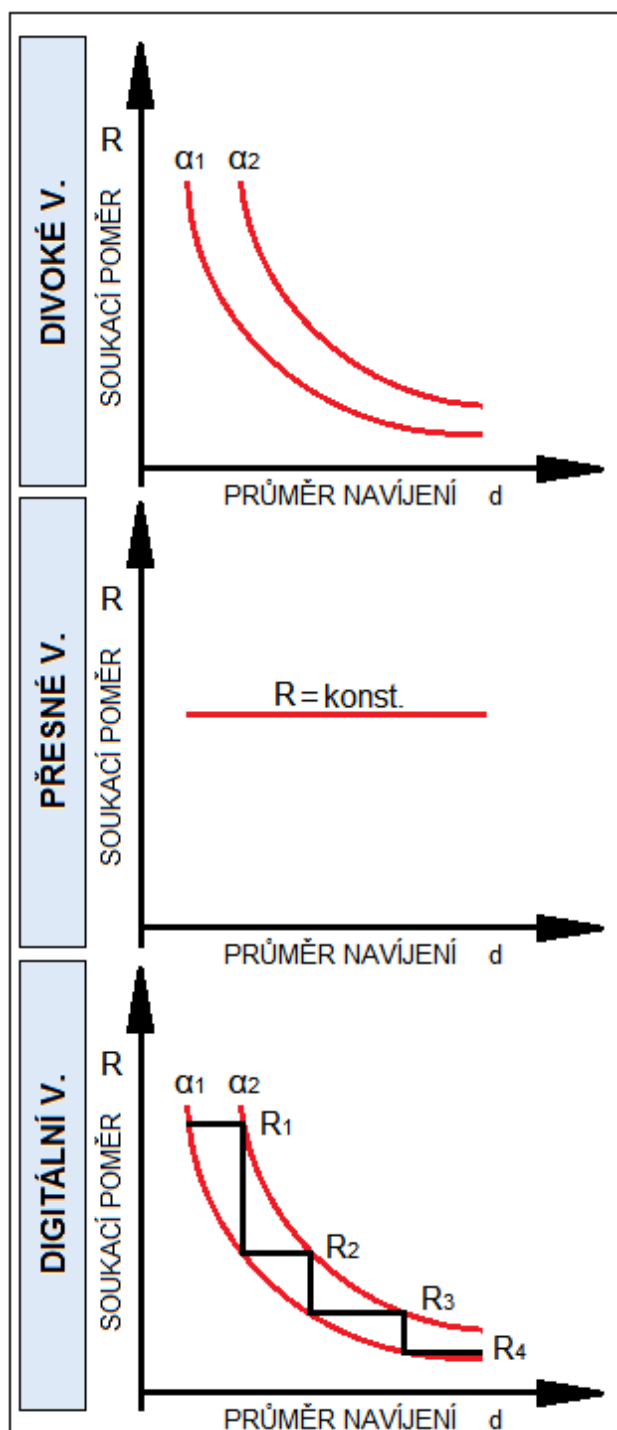
Řemínek je poháněn přes hnací kladku, na druhé straně napínán napínací kladkou a koná přímočarý vratný pohyb, při kterém vodící očko rozvádí nit na poháněné vřeteno. Vzhledem k nízké hmotnosti řemínku je možné dosáhnout vysokých navíjecích rychlostí, při otáčkách vřetene 1000 ot/min max. 1500 m/min. Elektronické programování obou pohonů, tedy otáček vřetene a hnací kladky, umožňuje navíjet různé tvary návinu při různém druhu vinutí.

1.2.3 Digitální vinutí

Tento způsob navíjení vyvinula firma SSM, která ho aplikuje u svých strojů pod označením DIGICONE a to na strojích s rotujícími křídly a s rozváděním pomocí krokového motoru. Jak již bylo zmíněno, tyto principy rozvádění jsou používány i pro přesné křížové vinutí.

Digitální vinutí nahrazuje vinutí divoké. V průběhu navíjení kombinuje vinutí divoké, tj. víceméně stejný úhel křížení a vinutí přesné křížové s konstantním soukacím poměrem. Výsledkem je cívka s výbornou strukturou. Princip řízení je plně elektronický, založený na komunikaci samostatných řízených pohonů pro navíjení a

rozdávění. Dle zvolených parametrů lze navíjet cívku s definovanou, téměř konstantní, mezerou, což je výhodné pro různé následné zpracovatelské operace, zejména barvení.



Obr. 19 Závislost soukacího poměru R na průměru navíjení d a typu křížového vinutí

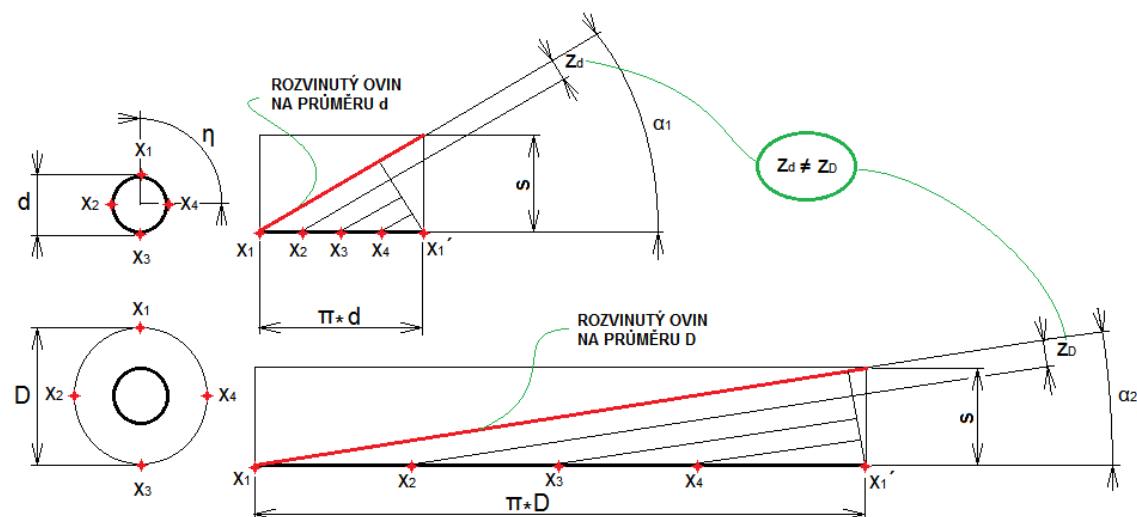
Princip navíjení spočívá v počáteční volbě soukacího poměru R_1 , jmenovité hodnotě úhlu stoupání α_n a známých parametrech šířky cívky B , malého a velkého průměru cívky. Ke jmenovité hodnotě úhlu stoupání ovinů je přiřazen rozsah, maximálně $\pm 1^\circ$ a získá se tak hodnota α_1 a α_2 . Navíjení tedy začíná s definovanou hodnotou soukacího poměru R_1 a úhlem stoupání α_1 , viz obr. 19. V momentu, kdy se dosáhne hodnoty α_2 , dojde ke skokové změně soukacího poměru na R_2 a opět se navíjí v rozsahu úhlu stoupání od α_1 do α_2 . Proces se stále opakuje.

1.2.4 Dokonale přesné křížové vinutí

Dokonale přesné křížové vinutí (DPKV) vychází z vinutí přesného křížového. Rovněž je založené na osovém náhonu cívky a vyžaduje svázání otáček cívky s rozváděcí rychlostí. DPKV bylo vyvinuto na Katedře textilních a jednoúčelových strojů, Technické univerzity v Liberci, Ing. Jozefem Kaniokem Ph.D.

Stěžejní myšlenkou u DPKV je zabezpečit nulovou mezeru mezi sousedními navinutými nitěmi. Zabezpečit dokonalou strukturu cívky, s co největším možným navinutým množstvím nitě pro daný rozměr cívky. Tyto vlastnosti mělo zabezpečovat již vinutí přesné křížové (PKV), nicméně jak bude dále popsáno, v průběhu navíjení přesným křížovým vinutím dochází ke vzniku a zvětšování mezery mezi sousedními navíjenými nitěmi. Toto zjištění je velice podrobně popsáno v disertační práci Ing. Kanioka Ph.D., Nový systém dokonalého přesného křížového vinutí.

Problematický stav vzniku mezery při PKV znázorňuje obr. 20. Body $x_1 \div x_4$ značí body vratu na čele cívky. Jejich počet je v průběhu navíjení konstantní stejně tak je konstantní stoupání ovinu s , úhel vratu η , šířka cívky B a soukací poměr R . mění se úhel stoupání ovinů α , který je na počátku navíjení α_1 a na konci α_2 .



Obr. 20 Zvětšování mezery při navíjení přesným křížovým vinutím

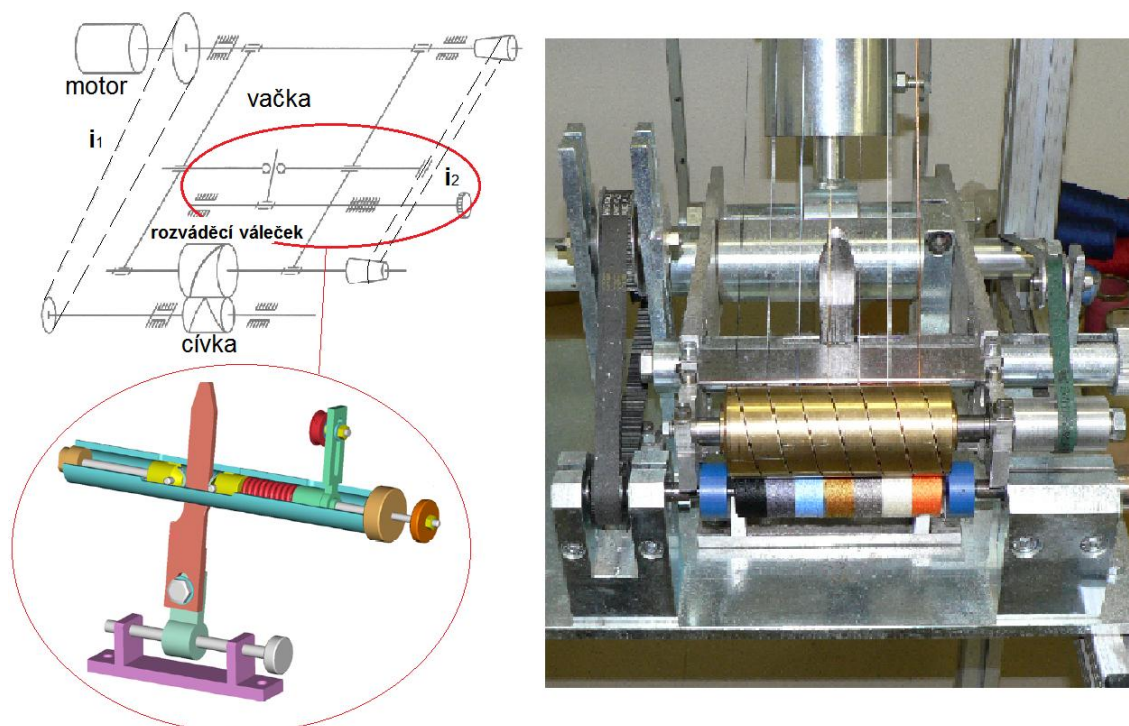
Kolmá vzdálenost, vynesená od přímky charakterizující rozvinutou délku ovinu, se s měnícím se úhlem stoupání zvětšuje. Na této přímce se odměřuje vzdálenost

sousedních navinutých nití **z**. Je tedy vidět, že mezera na začátku **z_a**, je menší než mezera na konci **z_b**.

Jak již bylo zmíněno, DPKV zajišťuje v průběhu navíjení konstantní mezeru mezi navíjenými nitěmi a to změnou jemného převodového poměru **i₂** přičemž celkový převodový poměr **i = i₁ * i₂**, převod **i₁** je pevný a udává soukací poměr **R**. Změna jemného převodového poměru **i₂** se provádí i u PKV a to před samotným navíjením a pak se už dále nemění. Tato skutečnost zásadně odlišuje dokonale přesné křížové vinutí od PKV. **V průběhu navíjení DPKV se mění jemný převodový poměr **i₂** a mezera mezi nitěmi je konstantní.** Jemný převodový poměr **i₂** je funkcí soukacího poměru **R**, šířky cívky **B**, tloušťky navíjené niti **t** a poloměru navíjení **r** a platí pro něj vztah:

$$i_2 = 1 \pm \frac{t \sqrt{\frac{1}{r^2} + \left(\frac{\pi R}{B}\right)^2}}{2\pi R} \quad (2.2.4.1)$$

Na obr. 21 je zobrazeno schéma i samotná konstrukce navíjecího zařízení s DPKV vyvinutého na TU v Liberci. Navíjecí jednotka využívá rozváděcí váleček,



Obr. 21 Navíjecí mechanismus pro DPKV na TUL doplněný o řízené navíjení pomocí vačky [6]

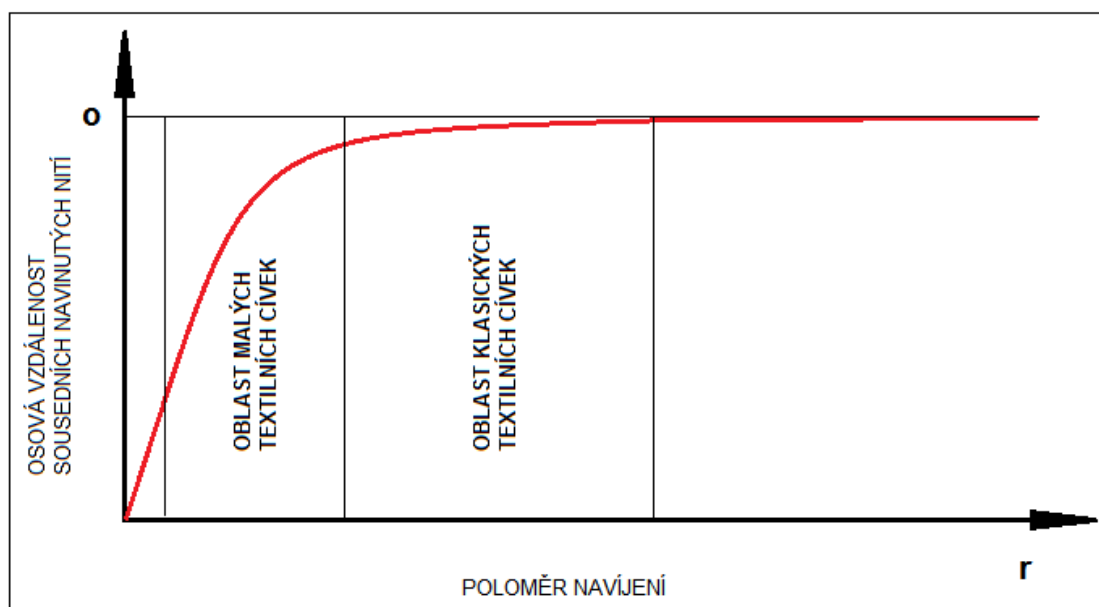
v tomto případě upraveného pro navíjení více cívek současně. Cívky jsou navíjeny na vřeteno, které je poháněné řízeným pohonem přes řemenový převod. Stejný pohon pohání rozváděcí váleček a to přes převod složený z řemínku a globoidních řemenic.

Posouváním řemínku po řemenicích je zajištěna změna jemného převodového poměru i_z . Posunutí zajišťuje vačkový mechanismus. Drážky rozváděcího válečku pevně definují hranice rozvádění. To předurčuje tento způsob navíjení k navíjení válcových cívek. Pro změnu šířky navíjené cívky je nutná výměna rozváděcího válečku, řídící vačky a globoidních řemenic. Mechanický princip řízení jemného převodového poměru i_z lze nahradit a to použitím druhého řízeného pohonu. Vzájemnou programovou komunikací řízeného pohonu vřeten a řízeného pohonu rozvádění, se okrem svázané navíjecí a rozváděcí rychlosti, zabezpečí také požadovaná změna jemného převodového poměru i_z a tedy navinutí cívky s DPKV.

Použití samostatných řízených pohonů pro navíjení a rozvádění je dalším předmětem této diplomové práce a bude dále popsáno v praktické části.

2 Cíl diplomové práce

V rámci teoretické části byly popsány jednotlivé druhy vinutí, jejich výhody a nevýhody. Získané informace vedou v zásadě ke konstrukci navíjecí jednotky, která potlačí nedostatky otevřeného křížového vinutí a umožní navíjet cívky s konstantní (v tomto případě nulovou) vzdáleností sousedních navinutých nití, tedy dokonale přesný křížový návin. Je nutné uvést, že dokonale přesný křížový návin a jeho aplikace je nejeefektivnější pro cívky s malým počátečním poloměrem navíjení. U klasických textilních cívek, které bývají navíjeny na dutinkách o větším průměru, nedochází, při PKV, k tak markantní změně osové vzdálenosti, respektive vzdálenosti sousedních navinutých nití. Průběh změny osové vzdálenosti sousedních nití na poloměru navíjení charakterizuje graf na obr. 22.

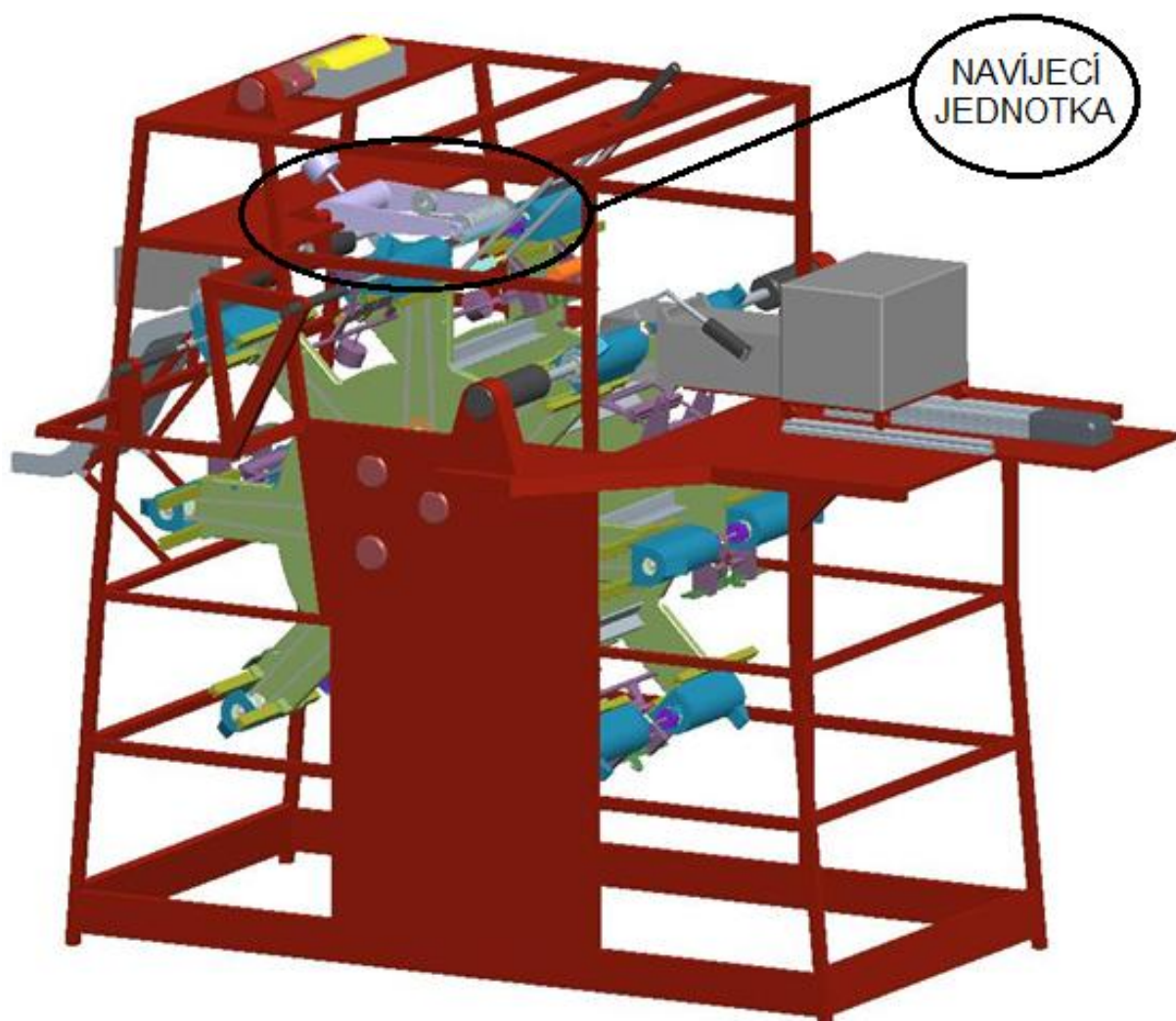


Obr. 22 Změna osové vzdálenosti sousedních navinutých nití v závislosti na poloměru navíjení

Do oblasti malých textilních cívek spadají mimo jiné samonosné náviny. Rozměrově se samonosný návin dá charakterizovat tím, že jeho velký průměr navíjení D je 2x až 3x větší než jeho šířka B , přičemž průměr D se pohybuje do 35 mm v průměru a malý průměr navíjení d by měl být co možná nejmenší (<6mm). Hlavními požadavky jsou:

- Největší možné množství navinuté nitě v daném objemu;
- Vytěsnění vzduchových mezer;
- Precizní struktura a soudržnost návínu.

Na Technické Univerzitě v Liberci již probíhá vývoj z oblasti výroby samonosných návinů, dále jen SN. Navíjecí jednotka s aplikovaným dokonale přesným křížovým vinutím (již popsán na obr. 21 v kapitole DPKV) je hlavní, ne však jedinou, součástí výrobního procesu. Navíc všechny operace spojené s tvorbou SN vyžadovaly ruční obsluhu. Na základě literatury [1] bylo přistoupeno k vývoji koncepce automatu pro výrobu SN obr. 23, následně k vývoji funkčního modelu, na němž je zamýšleno použití nové navíjecí jednotky pro skupinové navíjení cívek s DPKV.

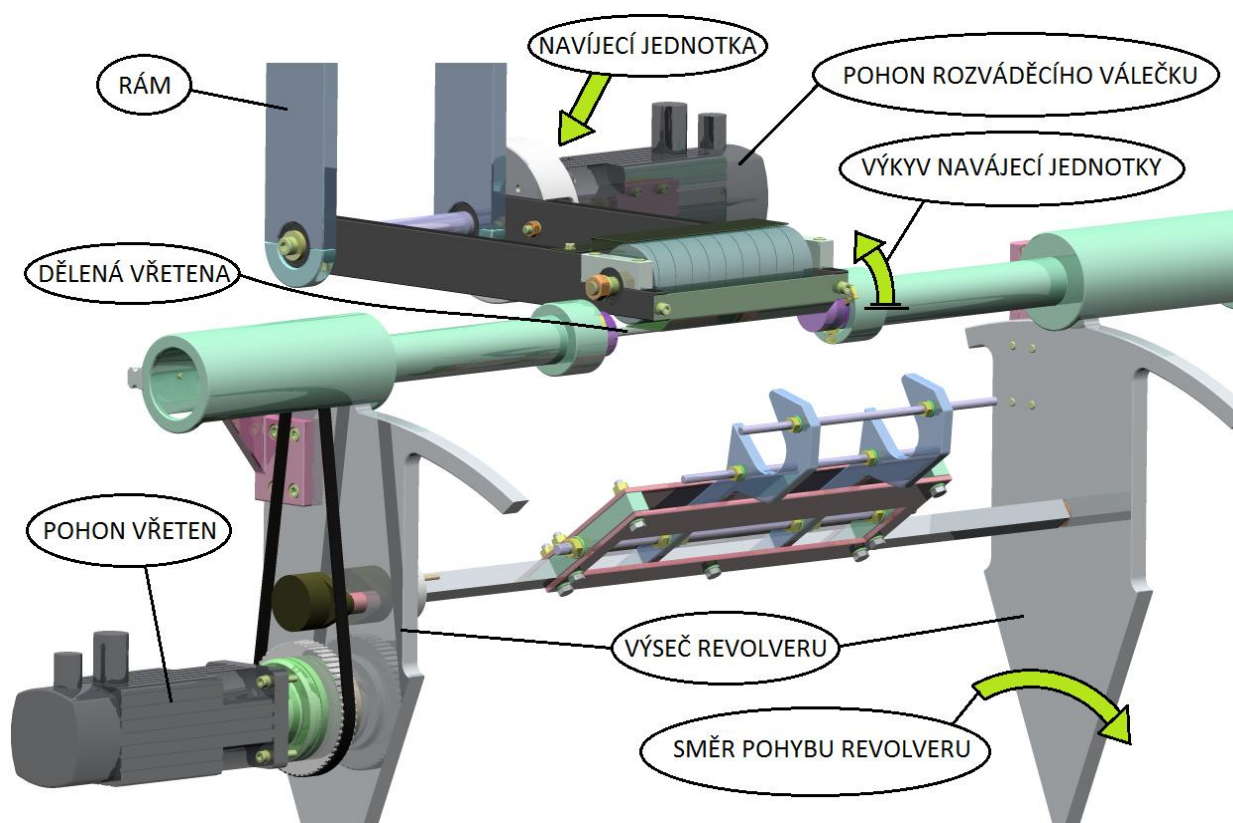


obr. 23 Koncepce stroje pro výrobu samonosných návinů [1]

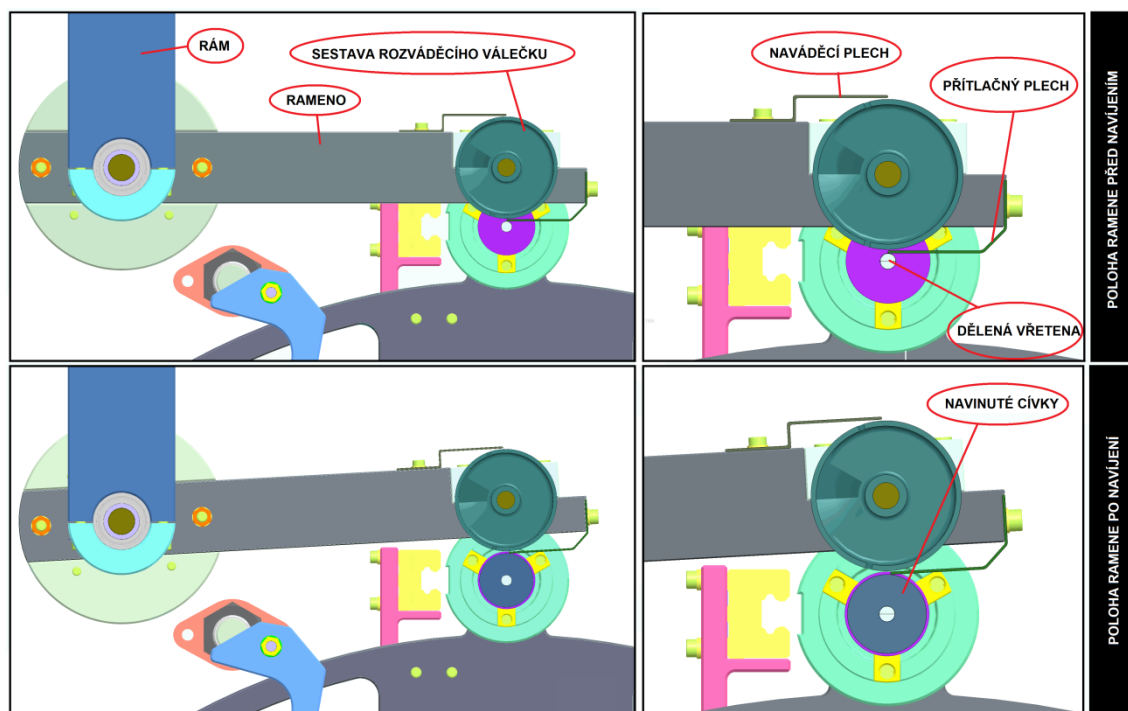
3 Návrh navíjecí jednotky

3.1 Navíjecí jednotka s horizontálním uspořádáním

Prvotní návrh navíjecí jednotky vzešel z koncepce zobrazené na obr. 23. Jednotka má horizontální uspořádání, viz obr. 24 a umožňuje navíjet nitě na vřetena uložená v pouzdrech na revolveru, který je svým postupným natáčením vede přes jednotlivé, dílčí fáze výroby SN. Revolver je rozdělen na 8 pozic. Každá tato pozice nese stejné prvky nutné pro zajištění funkce vřeten a dílčích technologických operací tvorby SN. Navíjecí jednotka je konstrukčně složená z ramene, na jednom konci uloženého v ložiskách, která umožňují výkyv v průběhu navíjení. Na druhém konci ramen je uložena sestava rozváděcího válečku hnaného přes řemenový převod servomotorem.



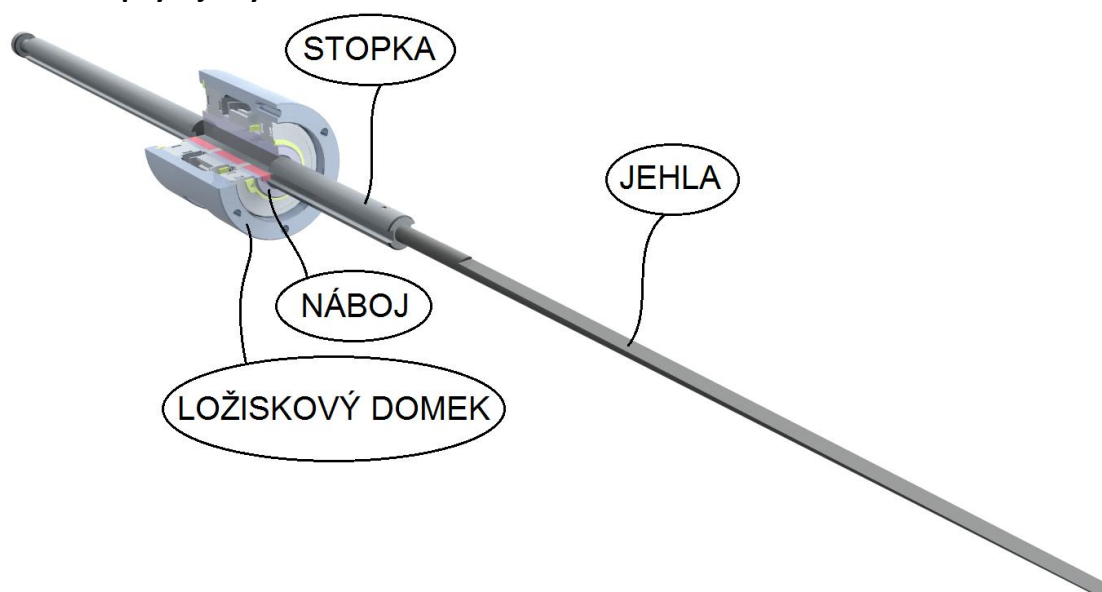
obr. 24 Navíjecí jednotka s horizontálním uspořádáním



obr. 25 Navíjecí jednotka s horizontálním uspořádáním – poloha před a po navíjení

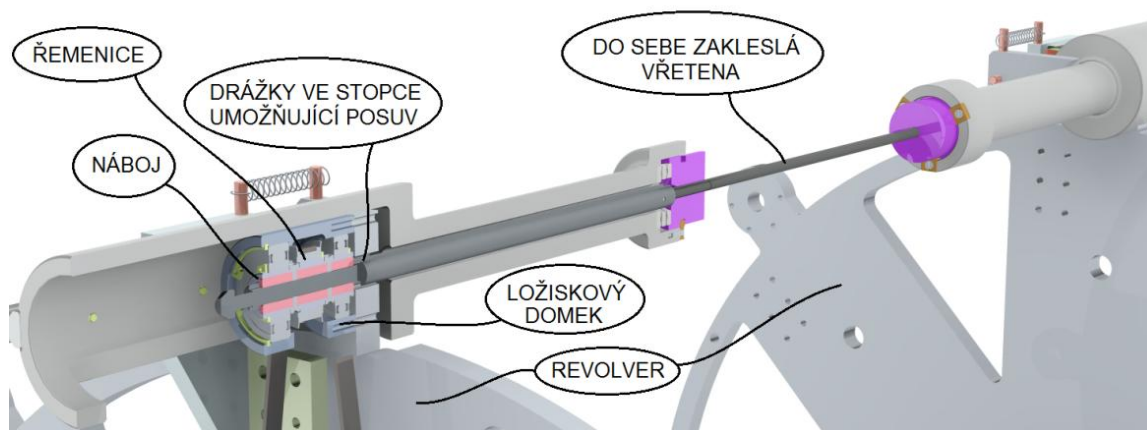
Na horní ploše ramene je šroubovým spojem upevněn naváděcí plech, přes který jsou navedeny nitě do drážek rozváděcího válečku, obr. 25. Na boční ploše ramene je uchycen přitlačný plech, jehož vnitřní, spodní plocha je téměř v kontaktu s rozváděcím válečkem. Vnější spodní plocha přitlačného plechu tečně dosedá na vřetena a rozvádí na ně nitě.

Vřetena, na něž jsou jednotlivé cívky navíjeny, obr. 26, se skládají ze dvou částí a to ze **stopky** a **jehly**.



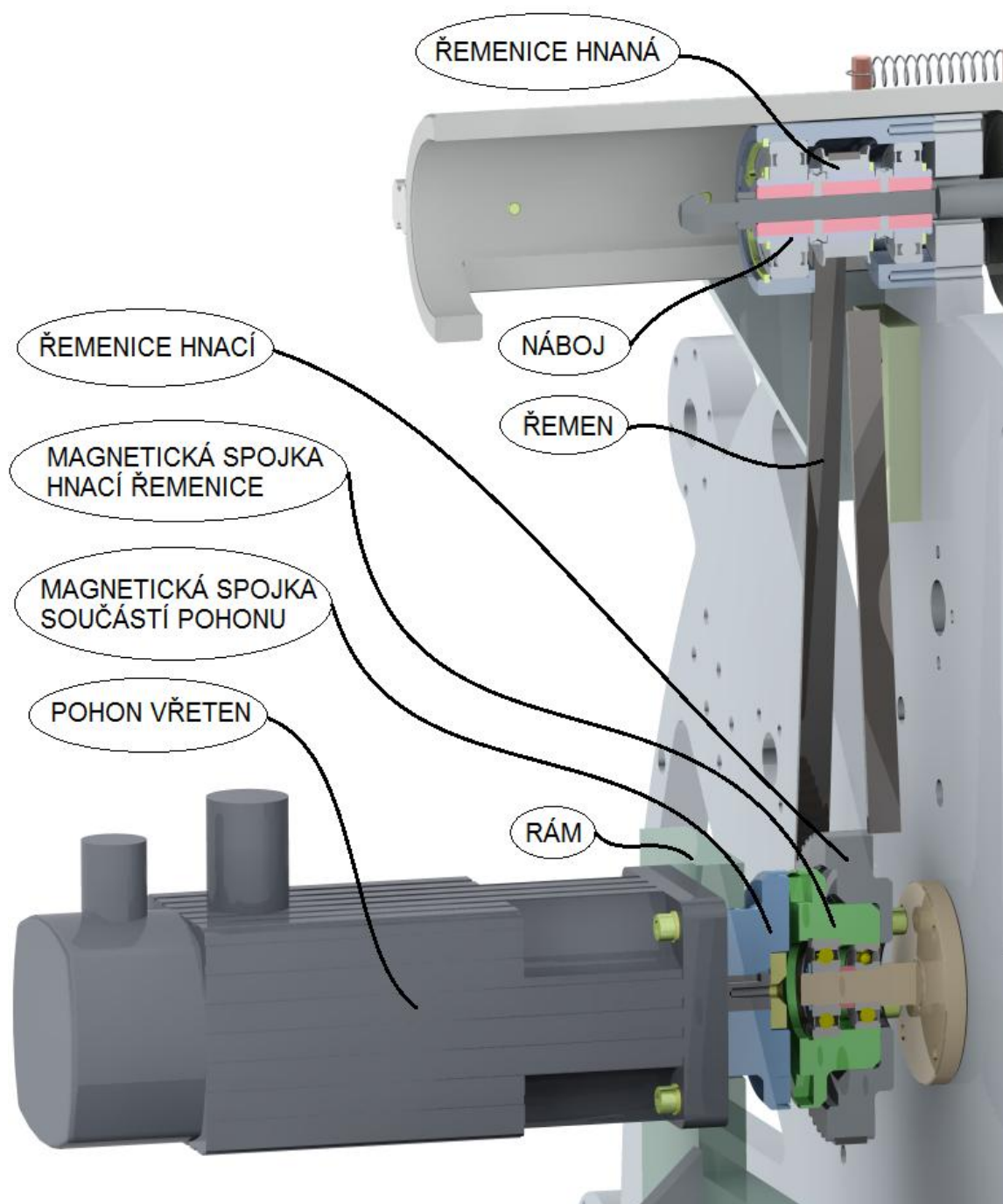
obr. 26 Dělené vřeteno

Stopka je většího průměru (12 mm) a slouží k vedení vřeten v nábojích, které jsou uloženy v ložiskových domcích na revolveru. Jehla je naopak malého průměru (6 mm) a její převážná část je podélně seříznutá. Pokud dojde k vzájemnému zaklesnutí 2 proti sobě naorientovaných vřeten, vznikne na jehlách válcová plocha, na niž jsou navíjeny cívky, obr. 27. U vřeten tedy dochází ke kombinaci translačního a rotačního pohybu. Translační pohyb je nutný z důvodů zachycení nití před navíjením a také pro stažení zhotovených cívek v poslední etapě výroby SN. Pohybů spojených s posouváním vřeten je docíleno pomocí lineárních pneumotorů. Rotační pohyb je pak spjatý se samotným navíjením.



obr. 27 Vřetena pro tvorbu samonosného návinu

Otáčení do sebe zakleslých vřeten je zajištěné přes řemenový převod. Řemenice hnací je přichycena na náboji vřeten a zajišťuje tak jejich otáčení. Řemenice hnací je umístěna přibližně v jedné třetině poloměru revolveru a otáčky jsou na ní přenášeny pomocí dělené magnetické spojky, viz obr. 28. Jedna polovina magnetické spojky je pevně přichycena k hřídeli pohonu vřeten, který je umístěn na rámu stroje. Druhá polovina magnetické spojky je pak součástí sestavy řemenice hnací a tedy pro každou z 8 pozic revolveru. Vzdálenost mezi půlkami magnetických spojek a tedy i síla jakou na sebe vzájemně působí, se nechá nastavit posunutím konzoly pohonu na rámu.

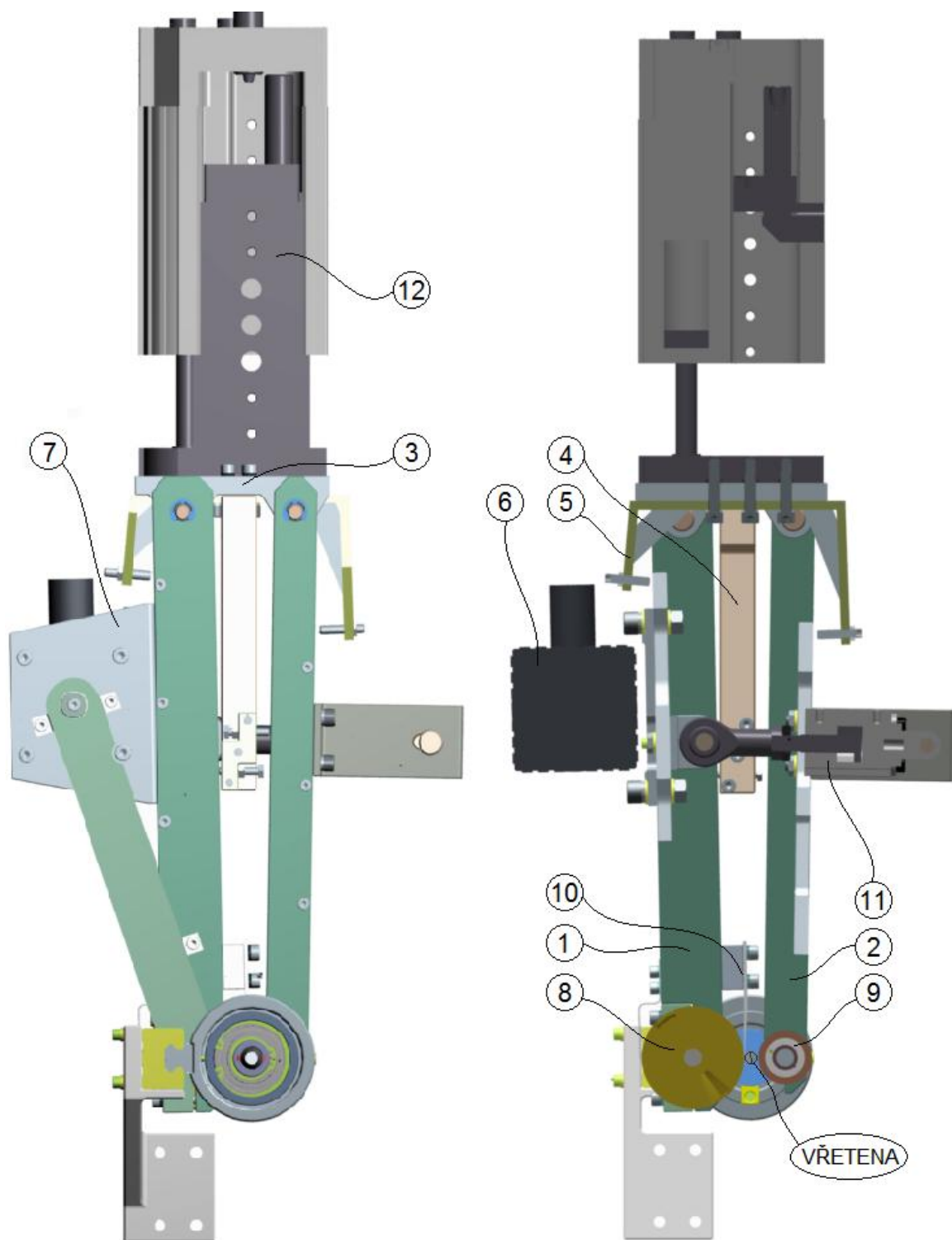


obr. 28 Pohon vřeten pomocí magnetické spojky a řemenového převodu

V průběhu konstrukce navíjecího zařízení byla varianta horizontální navíjecí jednotky opuštěna vzhledem k nutnosti přítlačného válečku, který by na vřetena působil v opačném směru než váleček rozváděcí. Tento přítlačný váleček by zajistil stejnou geometrii všech navíjených cívek a zabránil by prohýbání vřeten, která jsou velice malého průměru a z technologických důvodů dlouhá. Přítlačný váleček by u varianty s horizontálním uspořádáním musel být umístěny v prostoru pod vřeteny. To však z konstrukčních a technologických důvodů nebylo možné, neboť tento prostor

pokrývá revolver nesoucí vřetena. Řešením uvedeného problému se stala varianta navíjecí jednotky s vertikálním uspořádáním, obr. 29.

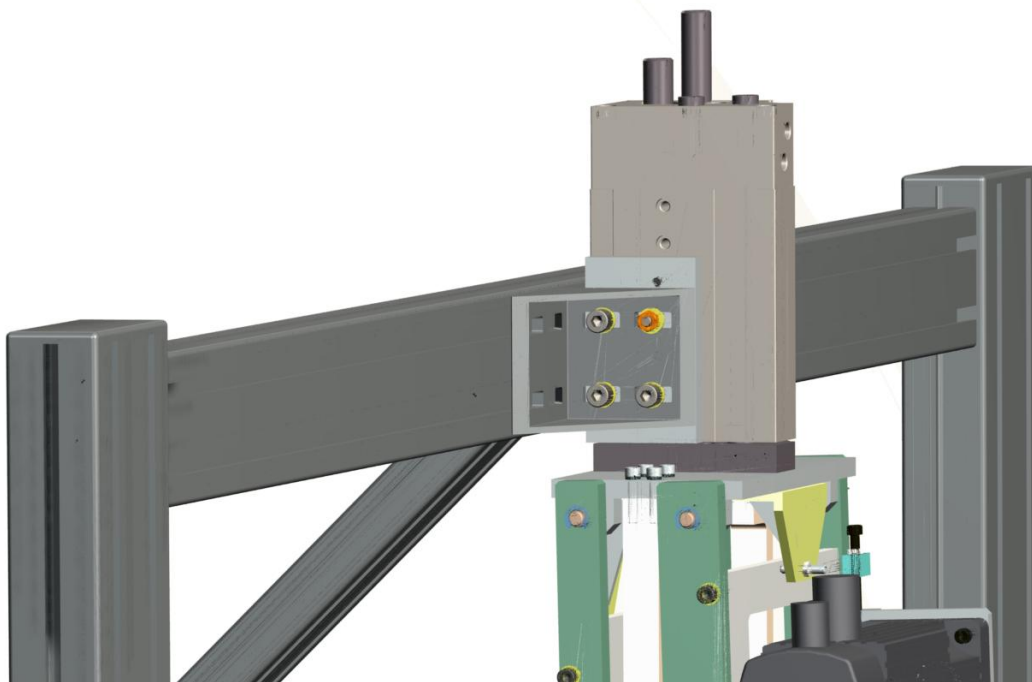
3.2 Navíjecí jednotka s vertikálním uspořádáním



obr. 29 Varianta navíjecí jednotky s vertikálním uspořádáním

Navíjecí jednotka s vertikálním uspořádáním se skládá z ramene rozváděcího válečku (1), ramene přitlačného válečku (2), upínací příruby (3), vnitřního omezovače výkyvu ramen (4), vnějšího omezovače výkyvu ramen (5) servopohonu s řemenovým převodem (6), upínací konzoly servopohonu (7), sestavy rozváděcího válečku (8), sestavy přitlačného válečku (9), rozváděcího plechu (10), pomocného pneumatického válečku (11) a nosného pneumatického válce (12).

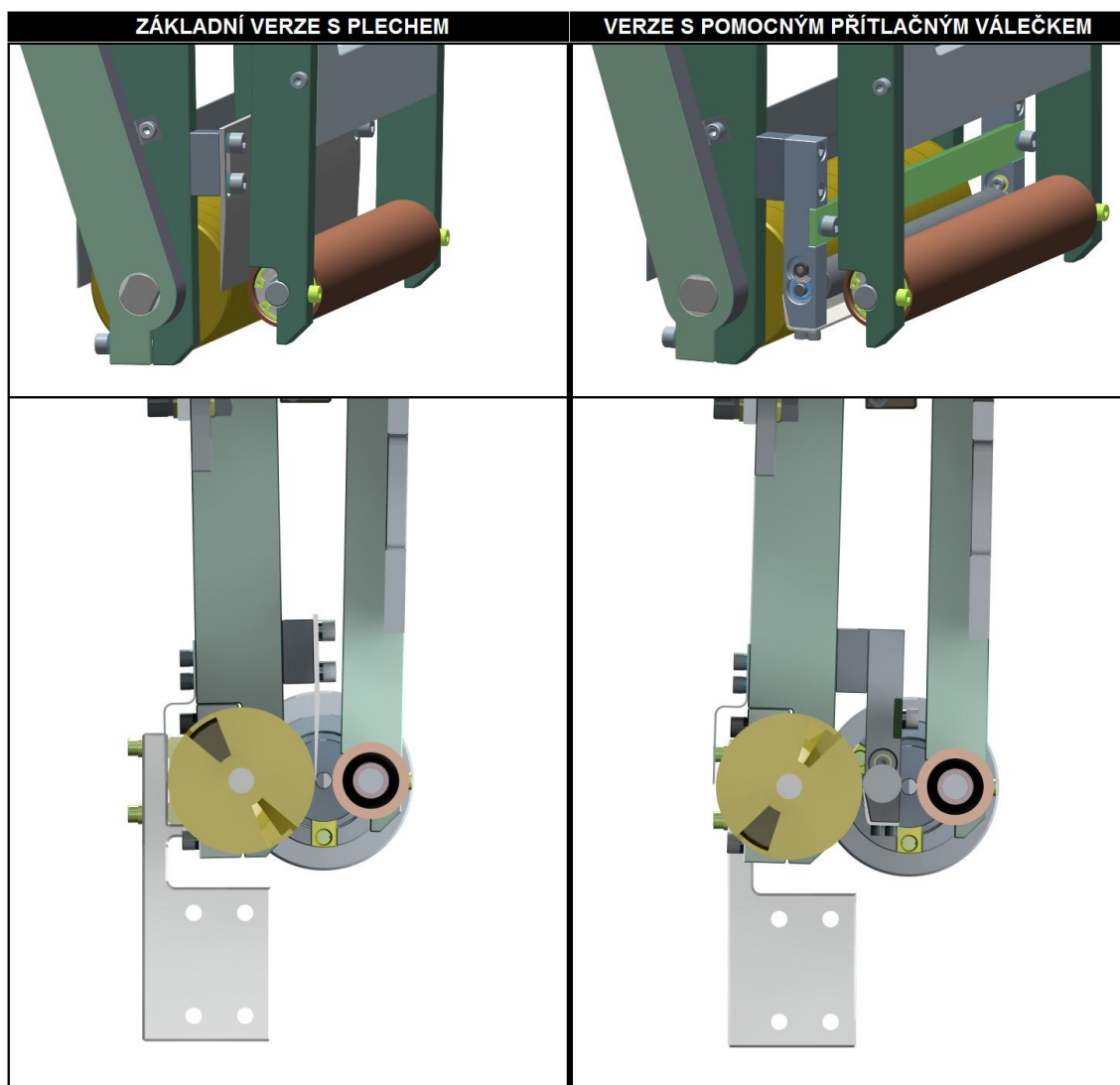
Vřetenový systém neprošel úpravou a je stejný jako u varianty navíjecí jednotky s horizontálním uspořádáním popsany v kapitole výše. Pro připomenutí, jedná se tedy o soustavu proti sobě naorientovaných dělených vřeten uložených na 8 pozicích revolveru, který se postupně otáčí. Vertikální navíjecí jednotka je umístěna na rámu nad nejvyšší horní pozici revolveru, v pozici navíjení. K rámu je upnuta přes uhlový segment za těleso nosného pneumatického válce s vedením, obr. 30. Nosný pneumatický válec, na jehož pístnici je přes upínací přírubu uchycena celá jednotka, spouští navíjecí jednotku do pracovní polohy v momentu,



obr. 30 Upnutí navíjecí jednotky, poloha válce před natočením revolveru do navíjecí polohy

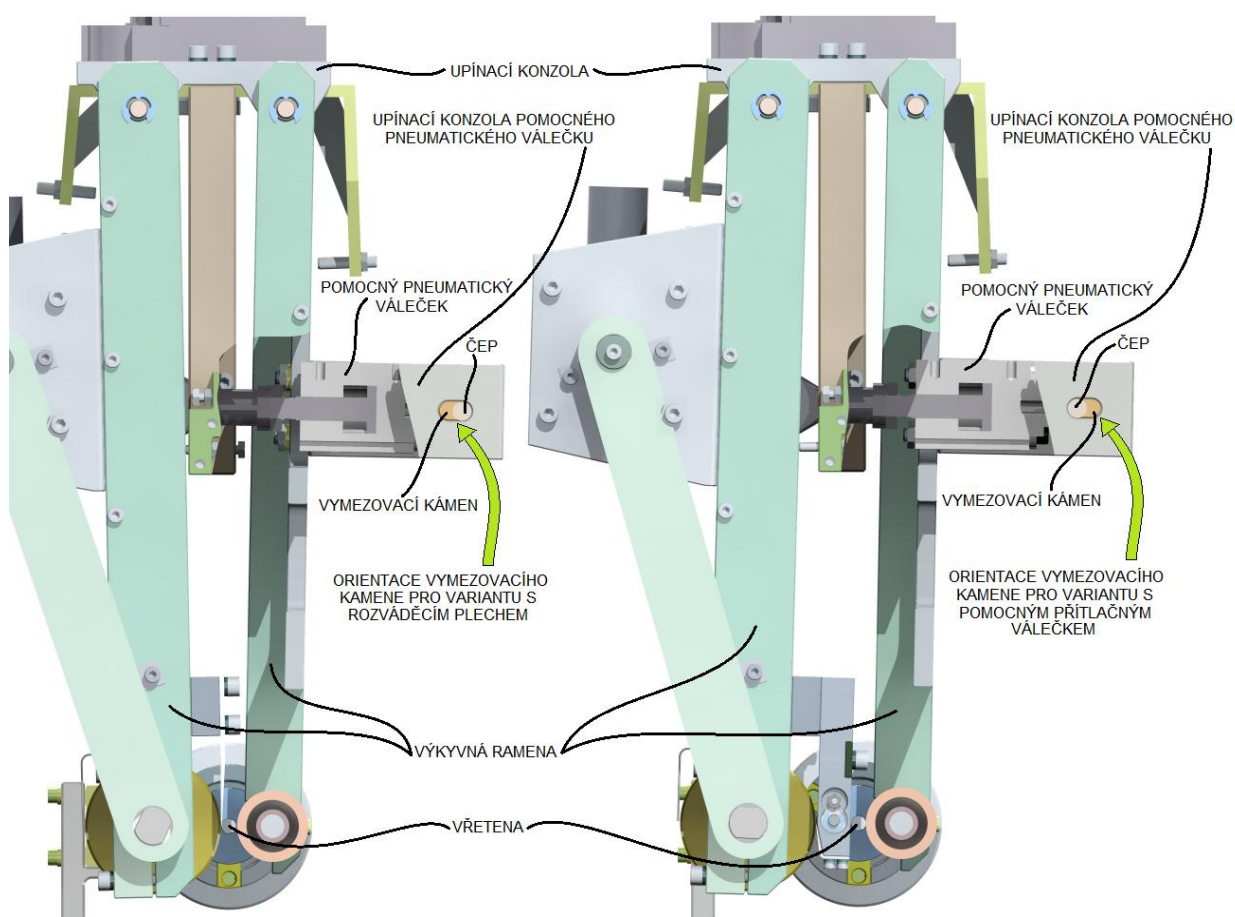
kdy revolver pootočí s vřeteny do navíjecí polohy a dojde k zachycení připravených nití. Ramena nesoucí rozváděcí a přitlačný váleček jsou uložena na upínací přírubě. Vzájemně jsou ramena spojena pomocným pneumatickým válečkem, který zajišťuje jejich rozevírání a zavírání před a po navíjecím cyklu. V průběhu navíjení, kdy se vlivem

narůstajícího průměru návinů ramena pomalu rozevívají, slouží pomocný pneumatický váleček jako pneumatická pružina a zvyšuje tak přítlak na navíjené cívky. Hranice výkyvu ramen jsou určeny omezovači výkyvu opatřenými stavěcími šrouby. Na ramenu rozváděcího válečku je pomocí konzoly upnutý servomotor, který prostřednictvím řemenového převodu pohání rozváděcí váleček. Stejně jako tomu bylo u navíjecí jednotky s horizontálním uspořádáním, je i zde před rozváděcí váleček umístěn rozváděcí plech. Umístění je provedeno tak, aby mezi ním a rozváděcím válečkem vznikla nepatrná mezera a z druhé strany tečně dosedal na navíjené cívky. V průběhu rozvádění dochází k tření mezi návinu a rozváděcím plechem. Ke snížení tření návinů byla navržena alternativa vložit mezi vřetena a rozváděcí váleček další přítlačný váleček. Již tedy nedochází k tření cívek o plech, ale k valení mezi dvěma přítlačnými válečky, obr. 31.



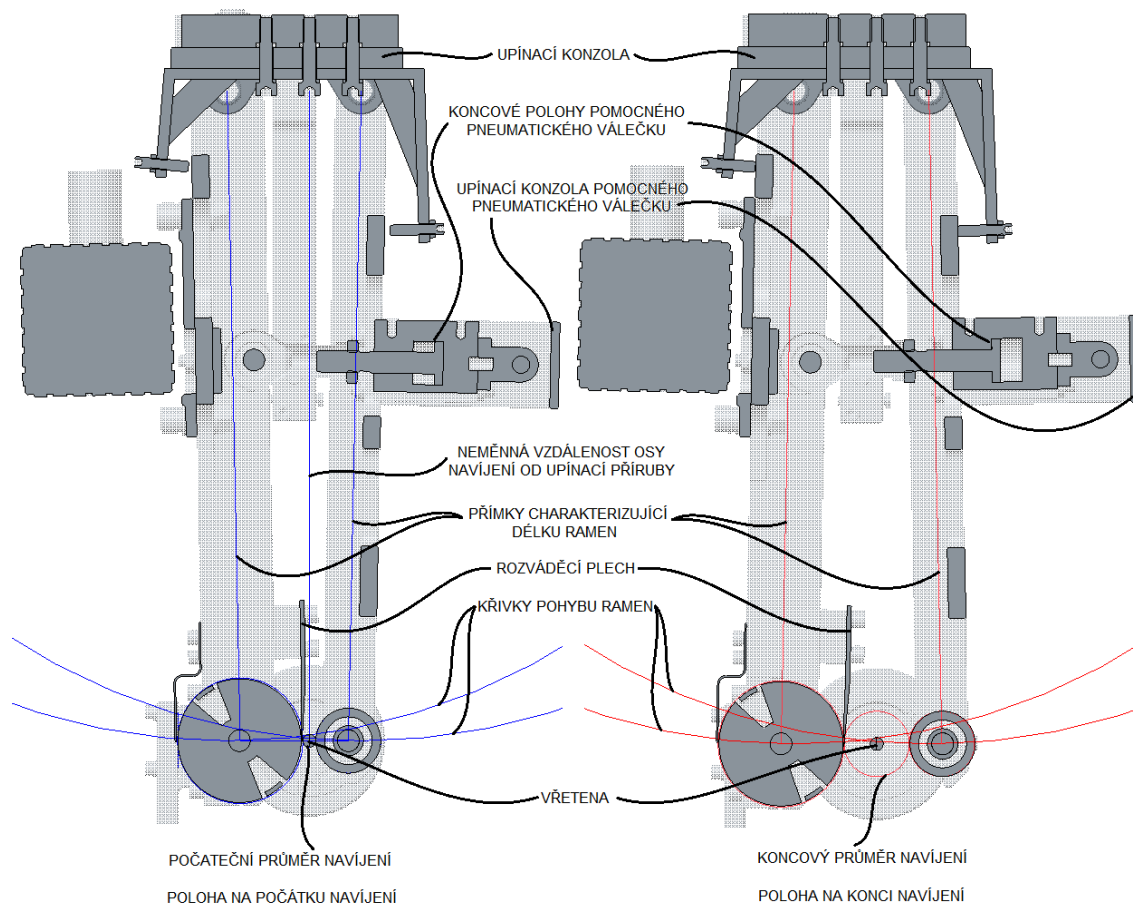
obr. 31 Navíjecí jednotka s vertikálním uspořádáním: základní provedení s rozváděcím plechem, rozšířené provedení s pomocným přítlačným válečkem

Sestava rozváděcího plechu je zaměnitelná se sestavou pomocného přitlačného válečku. Po výměně těchto sestav dojde ke změně počátečních poloh výkyvných ramen. Je proto nutné provést nastavení hranic pomocí stavěcích šroubů na omezovačích výkyvu. Dále je nutné změnit upínací polohu pomocného pneumatického válečku, který ovládá rozevírání a zavírání ramen. Změna se provádí přemístěním vymezení kamene na upínací konzole pomocného pneumatického válečku, viz obr. 32. V upínací konzole je pro kyvné uložení válečku zhotovena drážka. Změnou orientace vymezení kamene v drážce vzniká otvor pro umístění čepu nesoucí pneumatický váleček, jak pro montáž s plechem, tak pro montáž s pomocným přitlačným válečkem.

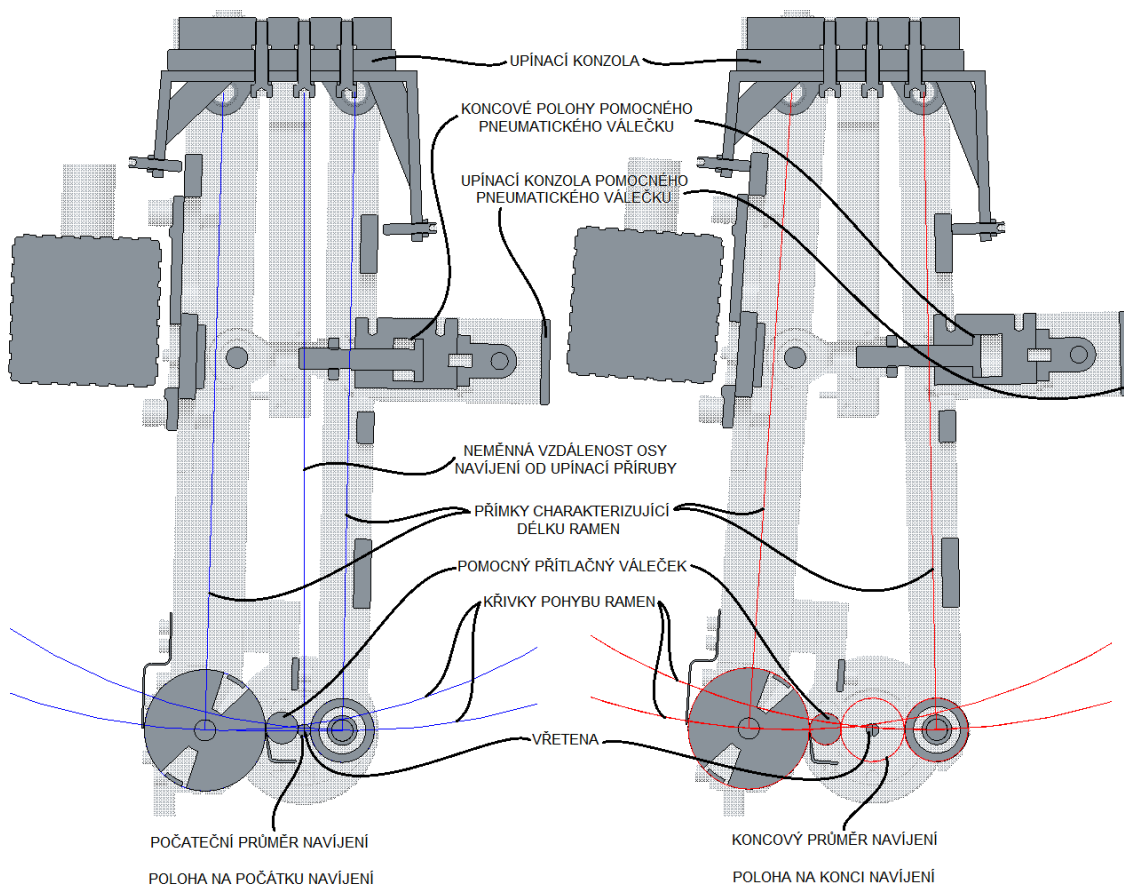


obr. 32 Umístění vymezení kamene pro variantu s rozváděcím plechem a pro variantu s pomocným přitlačným válečkem

Kontaktní body plechu či pomocného přitlačného válečku s vřeteny (respektive s náviny) zůstávají pro obě varianty stejné. Poměry před a po navíjení při použití obou variant popisují obr. 33 a obr. 34.

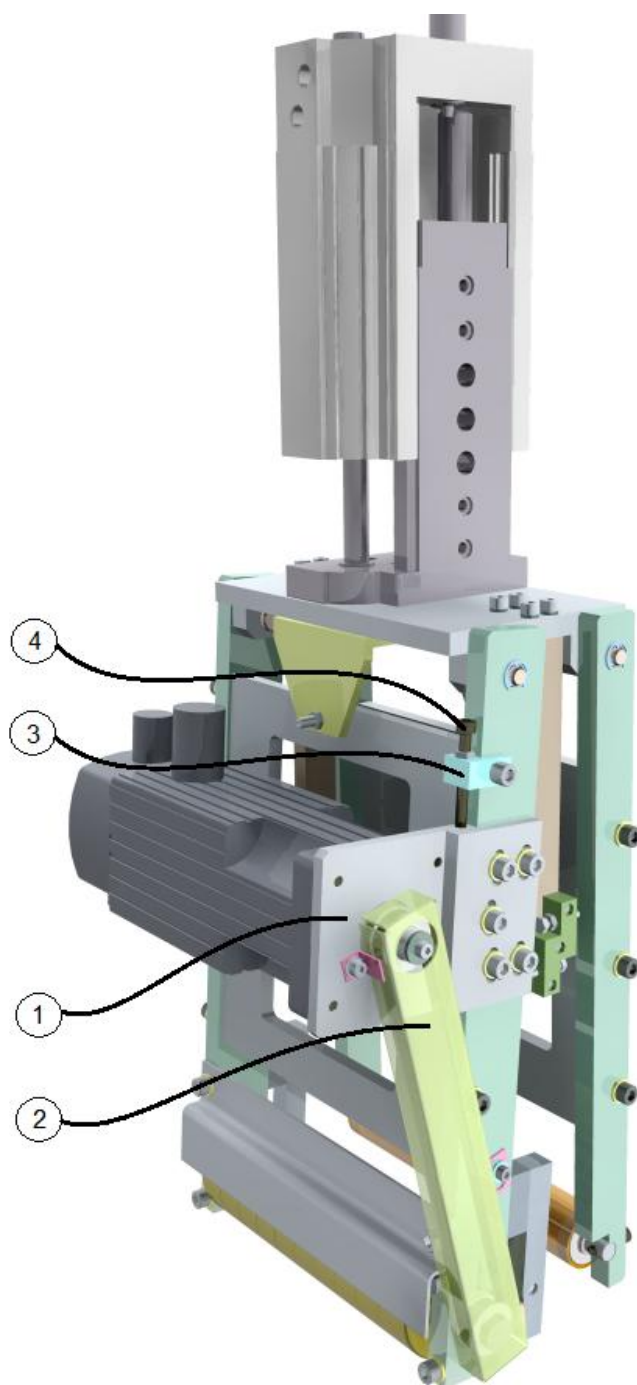


obr. 33 Poloha ramen před a po navíjení pro variantu s rozváděcím plechem



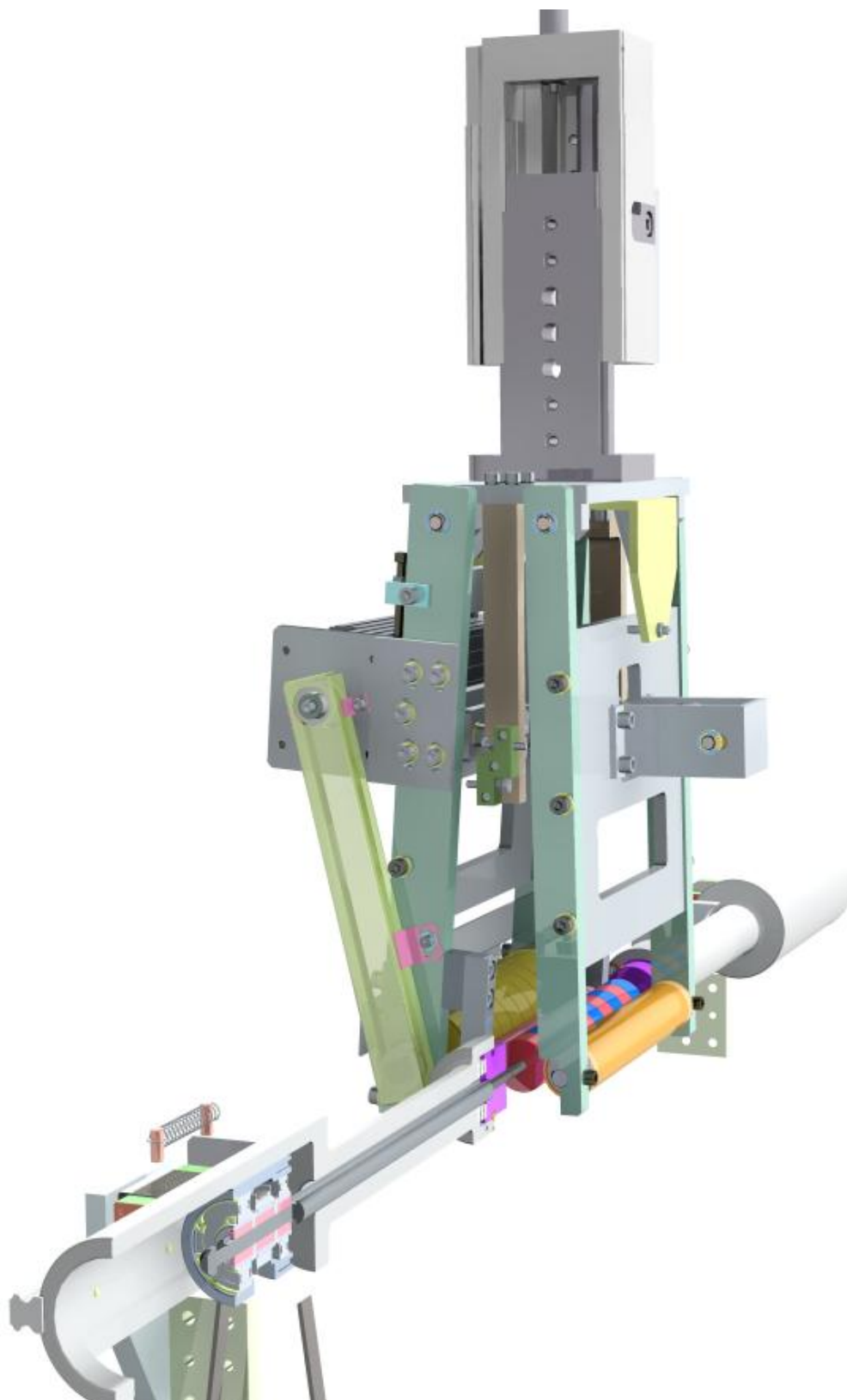
obr. 34 Poloha ramen před a po navíjení pro variantu s pomocným přítlačným válečkem

V závěru konstrukce, dle obr. 35, byl optimalizován tvar upínací konzoly servomotoru (1). Na její upínací ploše jsou vyfrézované podélné drážky, umožňující posuv konzoly po ramenu rozváděcího válečku a tím zajistit nutné napnutí řemene. Upínací plochy bezpečnostního krytu řemene (2) jsou obrobeny s dostatečnou vůlí tak, aby při posunutí konzoly nedošlo ke kolizi krytu s ostatními díly. Napnutí řemene, respektive posun konzoly zajišťuje napínací element (3) s napínacím šroubem (4).



obr. 35 Upínací konzola servomotoru, kryt řemene a napínací prvky

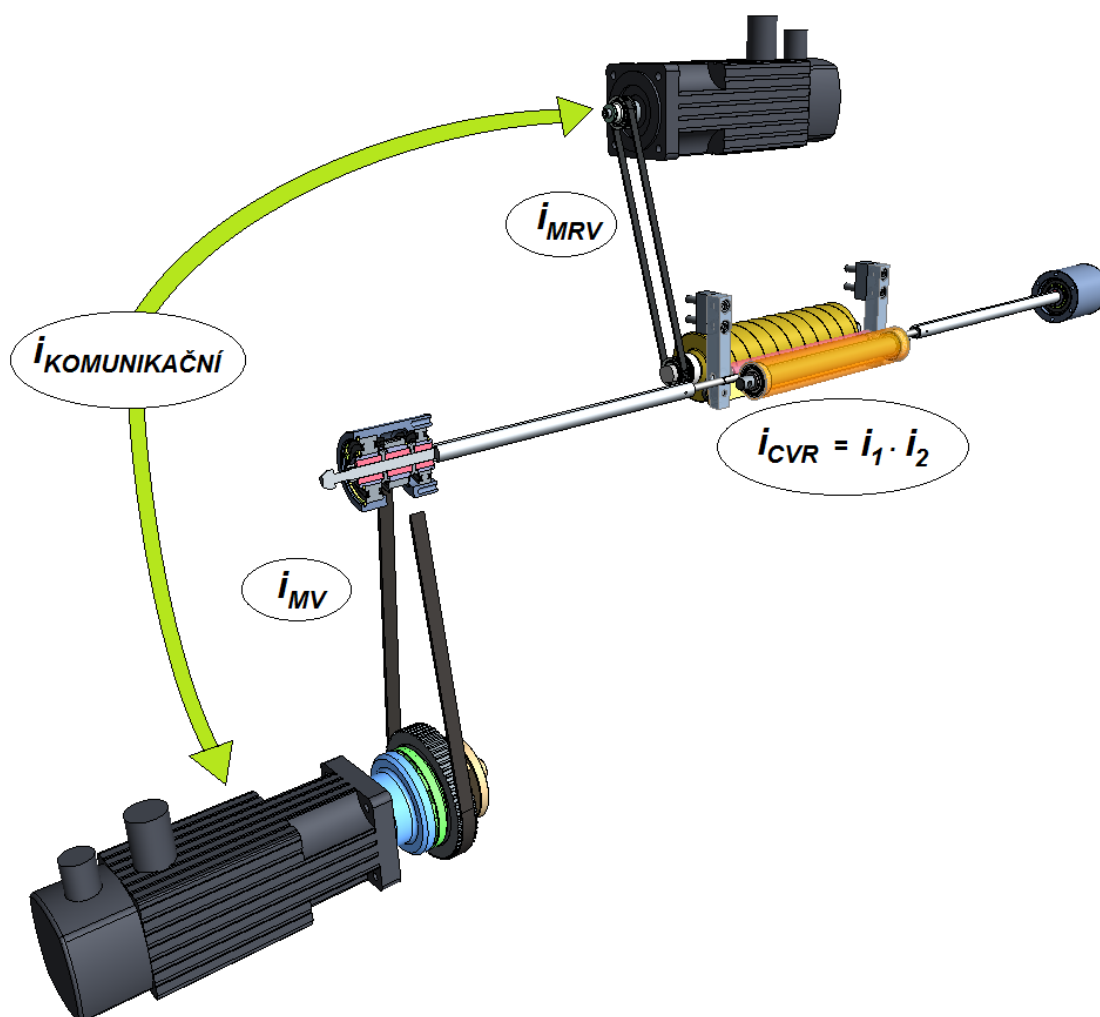
Výslednou podobu navíjecí jednotky, která bude testována na funkčním modelu automatu pro tvorbu SN, popisuje obr. 36.



obr. 36 Výsledná podoba konstrukce, vertikální navíjecí jednotka s pomocným přitlačným válečkem

4 Algoritmy pro řízené pohony

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, v kapitole dokonale přesného křížového vinutí, chceme-li dosáhnout nulové vzdálenosti mezi sousedními kladenými nitěmi, musí docházet ke změně jemného převodového poměru i_2 . Stejné pravidlo platí i pro tento případ, kde již není využito řídicí vačky, globoidních řemenic a řemínku pro změnu jemného převodového poměru i_2 . Řízení převzaly dva servomotory, vzájemně komunikující v zapojení v režimu *master and slave*. Jeden pro pohon vřeten v režimu *master* a druhý pro pohon rozváděcího válečku v režimu *slave*.



obr. 37 Navíjecí systém, převodové poměry

4.1 Převodové poměry v systému

Navíjecí systém charakterizuje obr. 37. Otáčky jsou od motorů transformovány pomocí řemenových převodů a to tak, že převodový poměr mezi pohonem vřeten a vřetenem je do rychla, $i_{MV} = 1:3$ a převodový poměr mezi pohonem rozváděcího

válečku a rozváděcím válečkem $i_{MRV} = 1:1$. Celkový převodový poměr mezi vřetenem a rozváděcím válečkem i_{CVR} je složen z převodového poměru i_1 , který odpovídá nominální hodnotě soukacího poměru R a jemného převodového poměru i_2 , jenž reprezentuje hledanou neznámou pro udržení konstantní (nulové) hodnoty vzdálenosti sousedních navinutých nití. Převodový poměr i_{CVR} je definován jako:

$$i_{CVR} = i_1 \cdot i_2 \quad (5.1.1)$$

Součinem všech dílčích převodových poměrů je komunikační převodový poměr $i_{KOMUNIKAČNÍ}$ poskytující informaci o celkovém převodu motorů *master and slave*.

$$i_{KOMUNIKAČNÍ} = i_{MV} \cdot i_{MRV} \cdot i_{CVR} = i_{MV} \cdot i_{MRV} \cdot i_1 \cdot i_2 \quad (5.1.2)$$

4.2 Model dokonale přesného křížového vinutí (DPKV)

Algoritmy pro řízení obou pohonů vycházejí z matematického modelu dokonale přesného křížového vinutí. Vstupními veličinami modelu jsou tloušťka navíjené nitě t , šířka cívky B , počáteční a koncový poloměr cívky $r_0 - r_k$ a soukací poměr R . Model počítá řadu výstupních parametrů, jako jsou převodové poměry i_2 a $i_{KOMUNIKAČNÍ}$, úhel křížení α nebo navinuté délky nitě ve vrstvě l_v a celkové délky $l_{CELKOVÁ}$ v závislosti na změně poloměru cívky r v průběhu navíjení. Pro odměřování délek návínů je funkční model vybaven měřicí kladkou, přes kterou je vedena nit tak, aby tvořila jeden závit. Kladka má obvod 200mm a jsou v ní dva otvory pro generování impulzů indukčním snímačem polohy. Je tedy generován jeden impuls na 100mm délky nitě.

Vzhledem k tomu, že zatím nebylo pro funkční model vyvinuto přesné odměřovací zařízení, které by umožňovalo měření rychlosti navíjené nitě se stejnou přesností a stejnou periodou vzorkování jako měření otáček vřetene, nebylo možné použít algoritmus pro průběžný výpočet poloměru návínů a bylo nutné narůstání tohoto poloměru modelovat jiným způsobem. Funkce změny poloměru návínů v závislosti na navinuté délce má při dokonale přesném křížovém vinutí poměrně složitý průběh. Na dříve realizovaných modelech bylo zjištěno, že při optimálním kladení nití se vytvářejí vrstvy návínů a vždy po zaplnění vrstvy dochází k výrazné změně poloměru. Proto se nabízí možnost jako krok změny poloměru použít právě tloušťku vrstvy. Ta ovšem není v žádném případě rovna průměru nitě, tedy teoreticky

rozteči kladení. Vzhledem k tomu, že úhly křížení sousedních vrstev se velmi málo liší, nitě zaplňují návin efektivněji. Dochází rovněž k deformacím nití i celých vrstev. Skutečná tloušťka vrstvy bude záviset na mnoha podmínkách, samozřejmě bude nutné experimentální ověření. V diplomové práci je pro předkládaný model zvolena tloušťka vrstvy 60% průměru nití a je vyjádřena koeficientem tloušťky vrstvy X . Narůstání cívky je postihnuto parametrem poloměru vrstvy r_v , kde pro n -tou vrstvu platí součet poloměru vřetene a n -tého součinu tloušťky nití ve vrstvě.

$$r_{vn} = r_0 + (t \cdot X) \cdot n \quad (5.2.3)$$

Vstupní data pro výpočty jsou obsažena v tabulce 3.

Tab. 3 Zadané parametry pro tvorbu algoritmů

parametr	veličina	hodnota	jednotka
TLOUŠŤKA NITÍ	t	0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1	mm
SOUKACÍ POMĚR ŠÍŘKA CÍVKY	R	1,50	-
POČÁTEČNÍ POLOMĚR NAVÍJENÍ	B	16,50	mm
KONCOVÝ POLOMĚR NAVÍJENÍ	r_0	3,00	mm
KOEFICIENT TLOUŠŤKY VRSTVY	r_k	15,00	mm
	X	0,60	-

Pro názornost jsou zde uvedeny stěžejní výstupní parametry matematického modelu. Konkrétní číselné řešení pro jednotlivé tloušťky nití je zařazeno v příloze 1.

výpočetní vztah pro určení jemného převodového poměru i_2 :

$$i_2 = 1 \pm \frac{t \cdot \sqrt{\frac{1}{r_v^2} + \left(\frac{\pi R}{B}\right)^2}}{2\pi R}, \quad (5.2.4) [2]$$

výpočetní vztah pro určení úhlu křížení α odpovídající dané vrstvě:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{B}{\pi R r_v}\right), \quad (5.2.5)$$

výpočetní vztah pro určení počtu ovinů na vrstvu N_v :

$$N_v = \frac{B}{t} * \cos \alpha, \quad (5.2.6)$$

výpočetní vztah pro určení délky jednoho ovinu v dané vrstvě l :

$$l = \frac{2\pi r_V}{\cos \alpha}, \quad (5.2.7)$$

výpočetní vztah pro určení délky nití navinuté ve vrstvě l_V :

$$l_V = N_V \cdot l, \quad (5.2.8)$$

výpočetní vztah pro určení celkové navinuté délky pro konkrétní tloušťku nití $l_{\text{celková}}$:

$$l_{\text{CELKOVÁ}} = \sum_{i=1}^{r_V-1} l_V \quad (5.2.9)$$

Žádanou hodnotou pro program navíjení je komunikační převodový poměr $i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}}$. Poměr v sobě zahrnuje všechny dílčí převodové poměry, které se v tomto navíjecím systému vyskytují a udává poměr mezi servomotorem vřetene a servomotorem rozváděcího válečku. Pro $i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}}$ platí :

$$i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}} = i_{MV} \cdot i_{MRV} \cdot i_{CVR} = i_{MV} \cdot i_{MRV} \cdot i_1 \cdot i_2 \quad (5.2.10)$$

Jak bylo zmíněno výše, převodový poměr i_1 je roven nominální hodnotě soukacího poměru R , dále pak se zahrnutím vztahu pro jemný převodový poměr i_2 lze vztah (5.2.10) přepsat do formy:

$$i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}} = i_{MV} \cdot i_{MR} \cdot R \cdot \left(1 \pm \frac{t \cdot \sqrt{\frac{1}{r_V^2} + \left(\frac{\pi R}{B}\right)^2}}{2\pi R} \right) \quad (5.2.11)$$

Vzhledem k tomu, že se převodový poměr i_2 nemění plynule, ale skokem, který odpovídá tloušťce vrstvy, zůstává osová vzdálenost mezi sousedními navinutými nitěmi v každé vrstvě konstantní, tedy rovna nule. Pro představu narůstání osové vzdálenosti v případě navíjení přesným křížovým vinutím, je v přílohách pro jednotlivé tloušťky nití, vykreslen graf znázorňující tuto závislost na poloměru navíjení.

V zásadě jedinou, avšak velmi výraznou nevýhodou DPKV, navrženého pro výše zmíněné parametry, je příliš velký úhel křížení α , jehož hodnota na počátku navíjení je téměř rovna 50° . Následkem je, že se nitě, vlivem napětí stáhnou k sobě a poruší se geometrie cívky uvažovaná v algoritmech. Nepříznivě situaci se dá předejít snížením napětí v nitě, což ale způsobí navíjení cívky s měkkým jádrem. Oba případy jsou pro dobrou stavbu cívky nevyhovující, a proto je v následující kapitole, nad rámec zadání této diplomové práce, nastíněno případné řešení.

5 Aplikace digitálního vinutí

Návrh nového řešení vychází z teorie digitálního vinutí z kapitoly (2.2.3). Navíjení začíná s definovaným konstantním, soukacím poměrem **R** a počátečním úhlem křížení α_1 , odpovídajícím šířce cívky **B**, počátečnímu poloměru navíjení r_0 , soukacímu poměru **R** a navíjí se do doby, kdy uhel křížení α nabude hodnoty α_2 a dojde ke skokové změně soukacího poměru zpět do oblasti úhlu křížení α_1 . Rozsah úhlu křížení α je zvolený, stejně tak i soukací poměry **R**, na které se v průběhu navíjení skáče. Tyto zvolené soukací poměry by měly ležet uvnitř intervalu úhlů křížení.

Níže navržené řešení je platné pro tloušťku niti **t=0,4** mm, nicméně algoritmus pro digitální vinutí je platný pro stejné tloušťky nití, které byly uvažovány pro DPKV v kapitole výše.

Vstupní parametry pro návrh digitálního vinutí popisuje tabulka 4.

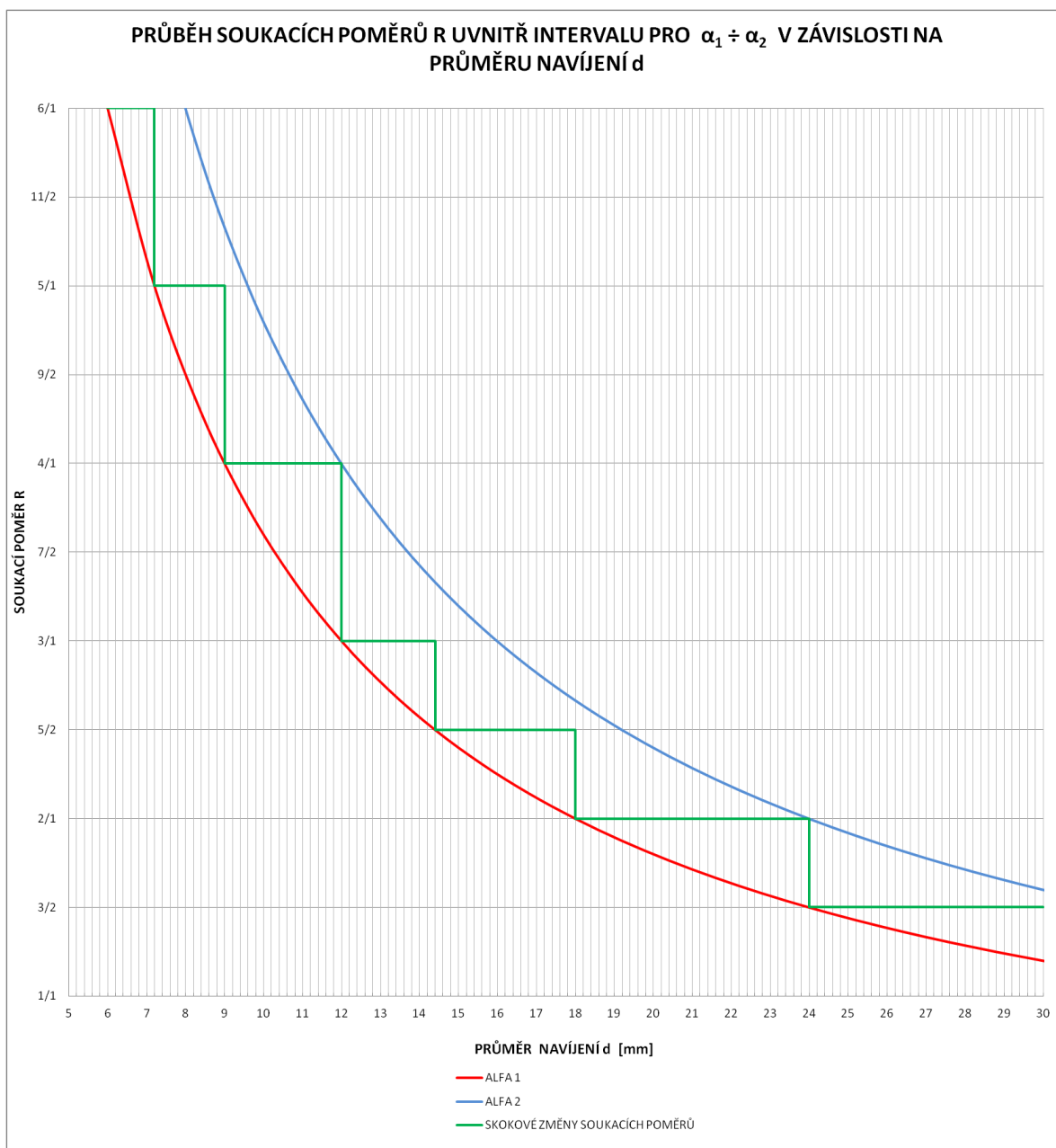
Tab. 4 Vstupní parametry pro digitální vinutí

parametr	veličina	hodnota	jednotka
TLOUŠŤKA NITI	t	0,4	mm
ŠÍŘKA CÍVKY	B	16,50	mm
POČÁTEČNÍ POLOMĚR NAVÍJENÍ	r_0	3,00	mm
KONCOVÝ POLOMĚR NAVÍJENÍ	r_k	15,00	mm
KOEFICIENT TLOŠŤKY VRSTVY	X	0,60	-

Na základě výsledků algoritmů pro DPKV byl v prvním kroku tohoto návrhu zvolen počáteční soukací poměr **R=6/1**, jemuž odpovídá úhel křížení α_1 , který na rozdíl od modelu pro DPKV je malý a nezpůsobí shrnutí ovinů na vřetenu. Číselná hodnota úhlu α_1 byla vyjádřena vztahem:

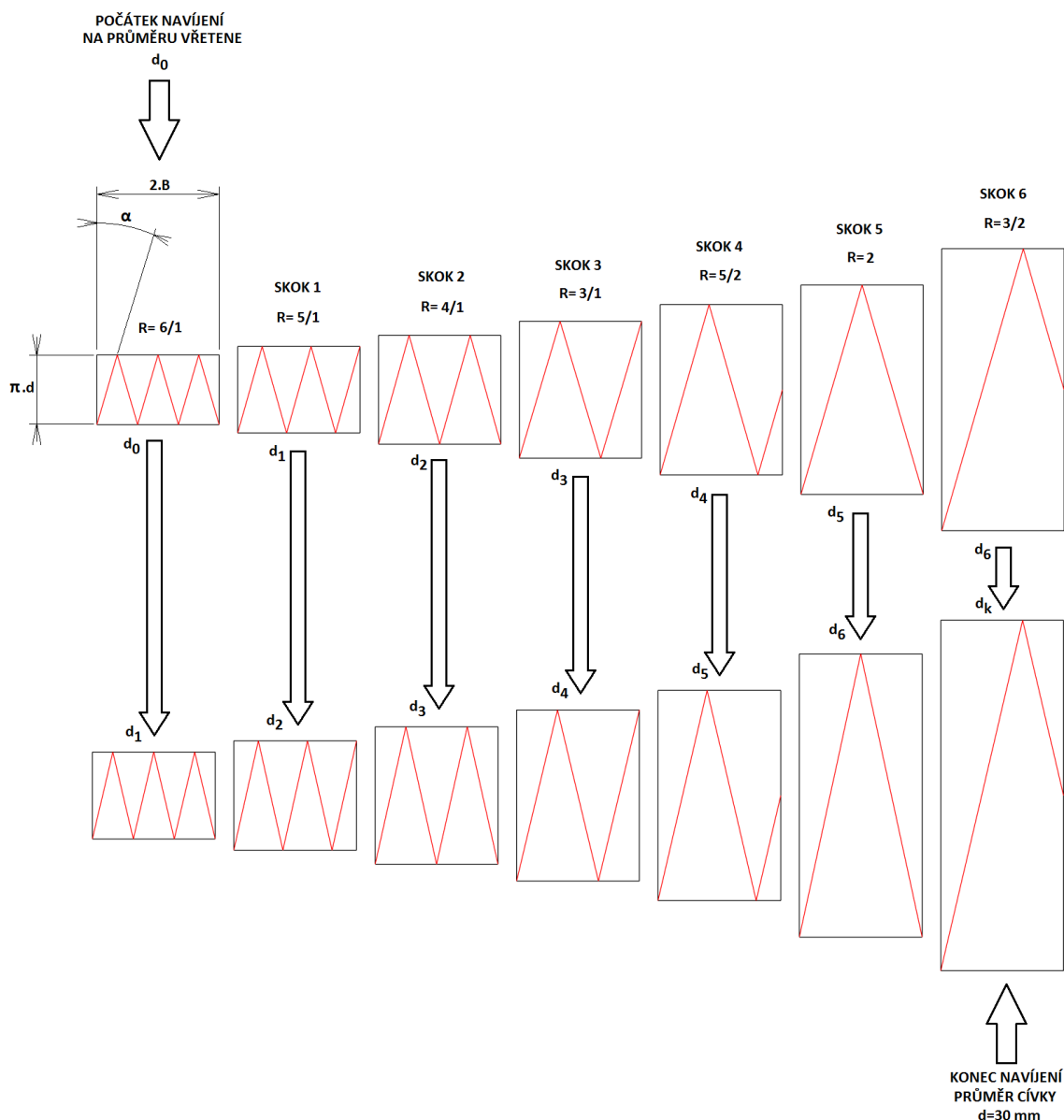
$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{B}{\pi R r_0}\right) = 16,27^\circ \quad (6.1)$$

Se známou hodnotou úhlu křížení $\alpha_1=16,27^\circ$ byla zvolena hodnota, o kterou úhel maximálně klesne, $\Delta_\alpha=4^\circ$ a tím tedy i úhel křížení $\alpha_2=12,27^\circ$. Následně byl vytvořen graf charakterizující konstantní průběh soukacího poměru R v intervalu úhlů křížení od α_1 do α_2 v závislosti na plynule narůstající průměr cívky d a zvoleny hodnoty soukacích poměrů, u kterých dochází ke skokovým změnám obr. 37.



obr. 37 Průběh soukacích poměrů R uvnitř intervalu pro úhly křížení v závislosti na průměru navíjení d

Strukturu cívky, u které by došlo, v průběhu navíjení, ke skokovým změnám soukacích poměrů popisuje obr. 37.



obr. 38 Struktura cívky navíjené digitálním vinutím se zvolenými odskoky soukacích poměrů

Úhly křížení α si jsou velice podobné, což je příznivé pro finální strukturu cívky. Graf na obr. 37 však vypovídá o tom, jak by docházelo ke skokům soukacích poměrů, v případě že průměr navíjení roste plynule. Stejně jako tomu bylo při řešení algoritmů pro DPKV, je i zde uvažováno že průměr navíjení roste s navinutou vrstvou a je tedy závislý na tloušťce niti t a koeficientem tloušťky niti ve vrstvě X . Je proto nutné vyšetřit hodnoty průměru vrstev d_v , při kterých dochází ke skokům a jim odpovídající skutečné úhly křížení α a stejně jako tomu bylo v kapitole výše, zjistit hodnoty komunikačního převodového poměru $i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}}$. Podrobně je tento rozbor proveden v příloze 2, kde bylo využito stejných vztahů pro výpočty parametrů ovinů ve vrstvě a převodových

poměrů jako u algoritmů pro DPKV. Navíjení v oblastech konstantních soukacích poměrů **R** neprobíhá přesně křížově, ale dokonale přesně křížově, s konstantní osovou vzdáleností sousedních navinutých nití.

6. Realizace řízených pohonů

Pro pohon navíjecího vřetene i pohon rozváděcího válce byly použity řízené elektrické pohony firmy CONTROL TECHNIQUES dle následující specifikace:

synchronní motor **CTM 4-07.3 / 4000 rpm**, bez klidové brzdy, jmenovitý moment 2Nm, s enkoderm **SinCos / SC Hiperface (SRS 50)** firmy Stegmann ve zpětné vazbě, **servoměnič kmitočtu DST 1402 Plus (Digitax ST Plus 2,7A / 1,4kW)**, s ovládacím panelem **DST – Keypad LED**.

Frekvenční měniče **DTS 1402 Plus** jsou měniče specifikace Servo, které jsou standardně vybaveny programovatelným modulem **Motion Processor Plus**. Moduly dvou pohonů umožňují vzájemné propojení dvěma datovými sběrnicemi:

CTSync v režimu Master / Slave (měnič, ovládající motor vřetena, je v pozici Master, měnič pohonu rozváděcího válce v pozici Slave),

CTNet v režimu obousměrného cyklického přenosu dat.

Indukční snímač polohy odměřovací kladky je připojen na přerušovací vstup **MPPlus**.

Vývojové prostředí **SYPT Pro** umožňuje vytvářet pro MPPlus moduly velmi složité uživatelské programy v jazyce SYPT. Pro realizaci řízení pohonů pro dokonale přesné křížové vinutí a digitální vinutí je použit programovací nástroj Advanced Position Controller. Výsledný program obsahuje všechny algoritmy i data, umožňující řízení navíjení dle zvoleného modelu v režimu *master-slave* s periodou výpočtu 500μs.

V době uzavření diplomové práce ještě nebyl funkční model navíjecího automatu oživen, nebylo tedy možné funkci algoritmů řízení prakticky ověřit. Základní funkce pohonů včetně nastavení výkonů a momentů obou motorů byly ověřeny na laboratorním modelu dokonale přesného křížového vinutí. Tento model však pracoval s odlišnými parametry navíjení a zcela jinými rozměry cívek.

Závěr

V rámci teoretické části diplomové práce jsou popsány jednotlivé druhy vinutí a způsoby jejich konstrukčních realizací. Následně, v kapitole cíl diplomové práce, jsou shrnuty teoretické poznatky a vymezena oblast použití dokonale přesného křížového vinutí. Dále je popsán vývoj samotné konstrukce počínaje návrhem navíjecí jednotky s horizontálním uspořádáním, založené na koncepci popsané v literatuře [1] a důvod, který vedl k hledání alternativního řešení. Následně je popsána konstrukce použitého vřetenového systému spolu se způsobem transformace otáček od servomotoru vřeten, přes magnetickou spojku a řemenový převod na hnaná vřetena. Finální popis kapitoly návrhu zařízení je věnován vertikální navíjecí jednotce, jejímu umístění na stroji pro tvorbu skupinových návinů a popisem funkcí jednotlivých celků v sestavě obsažených. Výsledkem návrhu je zvolená a zrealizovaná konstrukce vertikální navíjecí jednotky s pomocným přitlačným válečkem. Modelová konstrukce, včetně výrobní dokumentace, z níž je v přílohách obsažena hlavní sestava a její podsestavy, byla vytvořena v prostředí softwaru ProENGINEER Wildfire 4.

V praktické části, v kapitole algoritmy pro řízení pohony, jsou charakterizovány jednotlivé převodové poměry navíjecího systému a vyšetřeny hodnoty komunikačního převodového poměru $i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}}$ nutné pro řízení servopohonů při navíjení dokonale přesným křížovým vinutím, pro zadané parametry cívky. Podrobné hodnoty výpočtů jsou obsaženy v přílohách dokonale přesného křížového vinutí. Zároveň je popsána nepříznivá hodnota úhlu křížení α , vycházející ze zadaných parametrů soukacího poměru R , šířky cívky B , poloměru navíjení r a jeho negativní vliv na finální tvar cívky případně navíjené dle tohoto modelu. Proto je nad rámec zadání této práce nastíněno možné alternativní řešení vycházející z teorie digitálního vinutí. Model tohoto řešení je přiložen v příloze návrh digitálního vinutí.

V závěru práce jsou přiloženy informace o hardwaru použitého pro datovou komunikaci servomotorů a informace o vývojovém prostředí pro tvorbu programu.

Pevně věřím, že informace obsažené v diplomové práci a data zpracovaná v prostředí programu Microsoft Excel pomohou k úspěšnému zhotovení popisovaných cívek.

Použitá literatura

- [1] AMRICH, M. Model automatu pro navíjení samonosných spodních cívek, Bakalářská práce, Liberec, TUL 2010
- [2] KANIOK, J. Nový system dokonale přesného křížového vinutí, Doktorská disertační práce, Liberec, TUL 2010
- [3] webové stránky firmy DURAK : <http://www.durak.com/durak/index.php?lang=en>
- [4] webové stránky firmy SSM : <http://www.ssm.ch/index.php?S=1&Folder=27>
- [5] webové stránky firmy CEZOMA : <http://www.cezoma.com/>
- [6] plakát : Vývoj nového dokonale přesného křížového vinutí, kolektiv autorů, Výzkumné centrum textil 2
- [7] webové stránky firmy CONTROL TECHNNIQUES : <http://www.emersonindustrial.com/EN-EN/CONTROLTECHNIQUES/PRODUCTS/SERVODRIVES/Pages/servo-drives-motors.aspx>

Seznam Příloh

- Příloha 1: Dokonale přesné křížové vinutí, algoritmy pro stanovení komunikačního převodového poměru $i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}}$ pro tloušťku niti $t=0,2 \text{ mm}$ s podmínkou zachování nulové vzdálenosti sousedních navinutých nití
- Dokonale přesné křížové vinutí, algoritmy pro stanovení komunikačního převodového poměru $i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}}$ pro tloušťku niti $t=0,4 \text{ mm}$ s podmínkou zachování nulové vzdálenosti sousedních navinutých nití
- Dokonale přesné křížové vinutí, algoritmy pro stanovení komunikačního převodového poměru $i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}}$ pro tloušťku niti $t=0,6 \text{ mm}$ s podmínkou zachování nulové vzdálenosti sousedních navinutých nití
- Dokonale přesné křížové vinutí, algoritmy pro stanovení komunikačního převodového poměru $i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}}$ pro tloušťku niti $t=0,8 \text{ mm}$ s podmínkou zachování nulové vzdálenosti sousedních navinutých nití
- Dokonale přesné křížové vinutí, algoritmy pro stanovení komunikačního převodového poměru $i_{\text{KOMUNIKAČNÍ}}$ pro tloušťku niti $t=1 \text{ mm}$ s podmínkou zachování nulové vzdálenosti sousedních navinutých nití
- Příloha 2: Návrh digitálního vinutí
- Příloha 3: Výkresy
- | | |
|------------|--------------------------------|
| M255/0.2 | Navíjecí jednotka |
| M255/1.2 | Pomocný přitlačný váleček |
| M255/2.2 | Rameno rozváděcího válečku |
| M255/4.2 | Kryt řemene |
| M255/5.2 | Závěs ramen s omezovači výkyvu |
| M255/6.2 | Rameno přitlačného válečku |
| M255/7.2 | Rozváděcí váleček |
| M255/8.2 | Servomotor s konzolou |
| M255/0-1.3 | Upínací deska |